



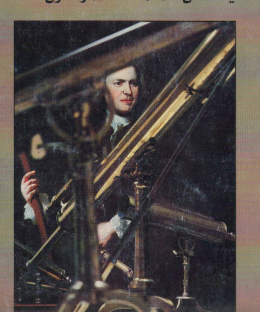
جون جريبن

ترجمة د. مصطفى إبراهيم فهمى

مولد الـزمان

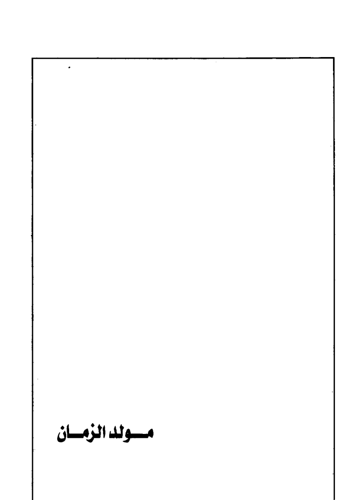
كيف قاس علماء الفلك عمر الكون

الأعمال الفكرية





الهيئة المصرية
العامة للكتاب



مولد الزمان

لوحة الغلاف

اسم العمل: عالم فى معمل الفلك
التقنية : أساليب مختلفة

علم الفلك من أقدم العلوم فى التاريخ، وقد أدرك الإغريق والبابليين وغيرهم من القدماء أن عطارد والزهرة والمريخ والمشترى وزحل هى أجسام متحركة بالنسبة إلى النجوم الثابتة، وبالتالى فهى أكثر قرباً من النجوم إلى الأرض، ثم جاء بطليموس وجدد النظام القديم بافتراضه أن جميع المدارات السماوية دائرية على أكمل وجه، ثم خطا كوبرنيكوس خطوته الجبارة بنقل الأرض من موقعها المركزى ووضع الشمس مكانها، تلاه تيكوبراهى، وهو أكثر الفلكيين دقة فى عهد ما قبل المرقب (المرصد)، وبعد ذلك اكتملت الثورة فى النظرة إلى الكون على يد إسحاق نيوتن، الذى توصل إلى وضع جميع أسس العمل الفلكى فى كتابه المنشور عام ١٦٨٧ باسم (المبادئ) . تلاه بعد ذلك مجموعة من العلماء يقيسون مسافات النجوم لتحديد مقياس الكون ذاته.

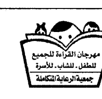
محمود الهندى

مولد الزمان

كيف قاس علماء الفلك عمر الكون

چون جريبن

ترجمة: د. مصطفى إبراهيم فهمى



مهرجان القراءة للجميع ٢٠٠١

مكتبة الأسـرة

برعاية السيدة سوزان مبارك

(الأعمال الفكرية)

مـــولد الزمـــان

چـــون جـــريبن

ترجمة : د. مصطفى إبراهيم فهمى

الناشر: دار العين للنشر والتوزيع
(طبعة خاصة)

الغـلاف
والإشراف الفنى:
الفنـان : **محمود الهندى**

المشرف العام :
د . سـمير سرحـان

الجهات المشاركة :

جمعية الرعاية المتكاملة المركزية

وزارة الثقـافـة

وزارة الإعـلام

وزارة التربية والتعليم

وزارة الإدارة المحلية

وزارة الشـباب

التنفيذ : هيئة الكتاب

على سبيل التقديم :

كان الكتاب وسيظل حلم كل راغب فى المعرفة واقتناؤه غاية كل متشوق للثقافة مدرك لأهميتها فى تشكيل الوجدان والروح والفكر، هكذا كان حلم صاحبة فكرة القراءة للجميع ووليدها «مكتبة الأسرة» السيدة سوزان مبارك التى لم تبخل بوقت أو جهد فى سبيل إثراء الحياة الثقافية والاجتماعية لمواطنيها.. جاهدت وقادت حملة تنوير جديدة واستطاعت أن توفر لشباب مصر كتاباً جاداً وبسعر فى متناول الجميع ليشبع نهمه للمعرفة دون عناء مادي وعلى مدى السنوات السبع الماضية نجحت مكتبة الأسرة أن تتربع فى صدارة البيت المصرى بثراء إصداراتها المعرفية المتنوعة فى مختلف فروع المعرفة الإنسانية.. وهناك الآن أكثر من ٢٠٠٠ عنواناً وما يربو على الأربعين مليون نسخة كتاب بين أيادى أفراد الأسرة المصرية أطفالاً وشباباً وشيوخاً تتوجها موسوعة «مصر القديمة» للعالم الأثرى الكبير سليم حسن (١٨ جزء). وتنضم إليها هذا العام موسوعة «قصة الحضارة» فى (٢٠ جزء).. مع السلاسل المعتادة لمكتبة الأسرة لترفع وتوسع من موقع الكتاب فى البيت المصرى تنهل منه الأسرة المصرية زاداً ثقافياً باقياً على مر الزمن وسلاحاً فى عصر المعلومات.

د. سمير سرحان



المحتويات

مقدمة المترجم

عندما يتطلع الإنسان للسماء ليلا مقلبا البصر بين نجومها، لابد له من أن يتساءل عما تكونه هذه النجوم، ومتى ظهرت أولا، وكيف وصلت للوجود هناك. ولعل أول تباشير للعلم قد بدأت عندما أخذ أجدادنا يتساءلون لأول مرة عن كل هذا. على أن كل أفراد الأجيال السابقة حتى سبعين سنة مضت لا غير، كانوا يرون أن ما يحدث داخل النجوم يعد فى معظمه من الألغاز، ناهيك عن الزعم بوجود مولد للزمان أو تحديد عمر للكون. وكانت هذه أفكار لا مكان لها تقريبا فى دوائر البحث العلمى. ولو زعم أحد العلماء وقتها، أو أى فرد من الناس أنه يفهم ما يحدث داخل النجوم أو أن هناك بداية للزمان لبدا زعمه هذا ضرب من الكلام فى السحر والخوض فى غيبيات بعيدة كل البعد عن العلم. إلا أنه حدث مؤخرا أن غزت أبحاث علماء الفلك والكون هذه الغياهب مسلّحة بوسائل حديثة متقدمة حتى توصلوا إلى تفهم هذه الأفكار والإجابة عن السؤال عن عمر الكون أو مولد الزمان، وتوصلوا كذلك إلى

معرفة الشئ الكثير عن أصل النجوم والمجرات وتركيبها ودورة حياتها وعمرها.

يكرس المؤلف جون جريبن كتابه هذا للإجابة عن هذه الأسئلة الملحة القديمة، وليسرد بأسلوب أخاذ قصة الأبحاث العلمية التى أجريت بهذا الشأن. وجريبن عالم فيزياء فلكية بارز ومن كتاب الثقافة العلمية الذين يستطيعون توصيل المعلومات العلمية لغير المتخصصين فى يسر وسلاسة. وقد بدأ اهتمامه بعمر الكون والمجرات منذ أوائل ستينيات القرن العشرين أى منذ أول عهده بالبحث العلمي. ثم انتهى به الأمر إلى أن جعل من هذه المسألة آخر مشروع بحث ساهم فيه حديثا مع جماعة من زملائه فى جامعة سسكس، بحيث أصبح له إسهامه الشخصى فى حل بعض ما يتعلق بهذه المسألة من مشاكل علمية.

يسرد جريبن فى كتابه القصة المثيرة لتاريخ ما أجرى من أبحاث وتقديرات لعمر الكون. وهو يبدأ بالتقديرات المبكرة فى القرن السابع عشر، عندما كان ينظر للأرض على أنها مركز الكون الذى تدور الشمس من حوله. وقد حدد رجال اللاهوت وقتها أن الكون قد بدأ فى سنة ٤٠٠٤ ق.م.. بل أن بعضهم حددوا هذه البداية باليوم والساعة (التاسعة صباحا من يوم الأحد ٢٧ أكتوبر ٤٠٠٤ ق.م !). وما لبث العلم الحديث أن دخل شيئا فشيئا فى تقديرات عمر الكون، فى نزاع مع اللاهوتيين انتهى بأن خرجت

المسألة تماما من نطاق أبحاث اللاهوت. وأخذت تقديرات العلماء لعمر الكون تتزايد تدريجيا من مئات الآلاف من السنين لتصل إلى عشرات الملايين ثم إلى بلايين الأعوام. ووأكب ذلك فى الوقت نفسه أن تغير تصور العلم للكون. فلم تعد الأرض هى مركزه، ولا حتى الشمس، بل ولا حتى مجرتنا درب التبانة. فالأرض كوكب مكانته عادية للغاية، وهى لا تزيد عن أن تكون كوكبا يدور حول نجم الشمس والشمس بدورها نجم عادى يقع فى الأطراف القصية لمجرة درب التبانة فى أحد أذرعها اللولبية وليس فى مركز المجرة. والشمس مجرد نجم واحد من بلايين النجوم فى المجرة. ولم تعد مجرة درب التبانة هى الكون كله كما كان يعتقد حتى أوائل القرن العشرين، وإنما هناك مئات البلايين من مجرات أخرى قريبة أو بعيدة. والنظرية السائدة عن نشأة الكون هى نظرية الانفجار الكبير، حيث بدأ الكون فى نقطة بانضغاط وكثافة هائلين بما أدى إلى تفجره بالحرارة فى انفجار كبير تلاه تمدد الكون، لتقل حرارته تدريجيا، وتتقلص أجزاء منه فى مجرات ونجوم، تظل تتباعد أحدها عن الآخر مع استمرار تمدد الكون ككل. وإذن فالكون له بداية والزمان له بداية عند الانفجار الكبير. ونظرية انفجار الكون وتمدده قد ثبتت عمليا من أرصاد عالم الفلك الأمريكى إدوين هابل الذى عاش من ١٨٨٩ حتى ١٩٥٣. وقد أدت أرصاده أيضا إلى إنشاء سلم لقياس المسافات الفلكية بين أجرام درب التبانة، ثم خروجا من درب التبانة إلى قياس المجرات

الأبعد، وذلك باستخدام الأجرام الناصعة كشموع معيارية لقياس المسافات. وهكذا قيست المسافة إلى مجرتى السحب الماجلانية القريبة، ثم إلى مجرة أندروميدا (المرأة المسلسلة) الأبعد، ثم بعدها إلى المجموعة العنقودية فيرجو (العذراء). وكل محطة أو درجة سلمْ من هذه تستخدم لقياس المسافة للمحطة أو الدرجة التالية فى سلم المسافات. وتبين من أرصاد هابل وجود علاقة بين مسافة بعد الأجرام وسرعة تباعدها أو سرعة تمدد الكون. وتتحدد هذه العلاقة فيما يعرف بثابت هابل الذى يقاس بالكيلومتر فى الثانية لكل ميجافرسخ. ومعرفة هذا الثابت تمكّن من حساب سرعة تمدد الكون، وبالتالى حساب عمر الكون، وتوقيت بدئه أو مولد الزمان.

على أن العلماء اختلفوا حول قيمة ثابت هابل، وبالتالى حول عمر الكون. وظلوا طوال عشرين سنة امتدت من سبعينيات القرن العشرين حتى تسعينياته، وهم فى خلاف عنيف حول عمر الكون، وذلك بمدى يتروح من عشرة بلايين عام حتى عشرين بليون، أى بما يصل إلى الضعف. ويشرح جريبين السبب فى هذا النزاع العلمى، وكيف توصل العلماء أخيرا فى ١٩٩٩ إلى العثور على الإجابة الصحيحة باستخدام وسائل شتى حديثة لقياس المسافات الكونية، وكيف توصلوا إلى الإتفاق حول تحديد قيمة معينة لثابت هابل وبالتالى إلى قيمة محددة لعمر الكون هى ١٣ ــ ١٦ بليون سنة.

هناك أيضا مشكلة ما كان يوجد من التناقض بين تقدير العلماء لعمر أكبر النجوم سنا وتقديرهم لعمر الكون، حيث قدر الكثيرون منهم أن عمر النجوم الأكبر سنا يزيد عن عمر الكون! أى أن الإبن أكبر سنا من الأب، وهذا تناقض غير مقبول، ولابد من تبين سبب الخطأ هنا. ويشرح الكتاب كيف تم حديثا حل هذه المشكلة. وكان هذا جانبا من البحث الذى أسهم فيه جريبن وفريقه، وأدى أيضا بطريق غير مباشر إلى تقدير عمر الكون تقديرا يتفق مع أحدث ما توصل العلماء له واتفقوا عليه.

ويسرد جريبن هذه الأبحاث العلمية فى شكل قصة تتتابع أحداثها على نحو شيق خلاب، من غير أن يلجأ لأى معادلات رياضية قد تنفر القارئ غير المتخصص. بل إنه يستخدم فى سرده تشبيهات من لغة الحياة اليومية، كأن يشبه حركة مجموعة من المجرات بحركة جماعات من النحل تسير معا فى سرب، كما يشبه حركةأحد الأجرام بالنسبة للأجرام الأخرى فى مجموعته، وكأنها حركة شخص يهبط على سلم كهربائى ولكن السلم نفسه يتحرك لأعلى وليس لأسفل، فهذه حركة اندفاع للداخل فى مجموعة تتحرك ككل للخارج.

والكتاب هكذا لا غنى عنه لأى متابع للثقافة العلمية حيث يعطى أحدث الإجابات عن أقدم الأسئلة.

د. مصطفى إبراهيم فهمى

شكر

أقدم الشكر لسيمون جودوين ومارتن هندرى، اللذان أتاحالى الفرصة لإنجاز بعض الأبحاث الحقيقية مرة أخرى، كما أشكر أندرو باربر لمناقشاته الحافزة حول مقياس المسافات خارج المجرة، ولآلان سانديج الذى أشار إلى الطريق.

الخلاف حول العمر

إلى أى مدى يكون الخطأ خطأ؟

لا يوجد طفل يكون عمره أكبر من والده نفسه. ولكن لو أننا أخذنا بعض الحكايات التى ظهرت فى وسائل الإعلام فى منتصف تسعينيات القرن العشرين على علاتها لربما ظننا أن علماء الفلك قد بلغ بهم الغباء أنهم يعتقدون أن النجوم يمكن لها أن تكون أكبر عمرا عن الكون الذى ولدت منه. بل وكان هناك تقارير أكثر رصانة تحدثت عن «أزمة العمر» (صحيفة «نيوزويك»، ٧ نوفمبر ١٩٩٤)، وطرحت أنه إما أن هناك خطأ خطير فى فهم علم الفلك لطريقة عمل النجوم، أو أن النظرية الأثيرة عن مولد الكون، نظرية الانفجار الكبير، هى نظرية خطأ (وكان هناك تلميح بأن هذا هو الأرجح). كتبت شارون بيجلى فى هذا التحقيق فى «نيوزويك» لتقول:

«لا تبحثوا عن حل لأزمة العمر فى الغد القريب. ويوصّف فان دين بيرج المسألة (وهو أحد أنصار الاتجاه الفلكى)، مستشهداً بمارك توين فيقول، «أدت أبحاث عدد كبير من المعلقين إلى إضفاء الكثير من الظلام حول هذا الموضوع، ومن المحتمل أنهم إذا استمروا هكذا، فسرعان ما لن نعرف أى شىء عن هذا الموضوع بالمرة؛ إلا أن علم الكون ليس على هذا الحال من السوء، وإنما لا ريب أن الظلام يزداد قبل أن يظهر الضوء».

وهذا استشهاد عظيم، على أن بيجلى ينبغى أن تكون على درجة من المعرفة تعلو بها عن التكهن بتنبؤات كهذه. وقد حدث فى خلال ثلاث سنوات من ظهور ذلك المقال أن تم حقا حل أزمة العمر بكل ما كانت عليه. أما السبب فيما انتاب كل الأفراد من هياج بالغ فى ١٩٩٤ فهو أن البيانات الآتية من هابل تليسكوب الفضاء (هـ ت ف أو HST) قد استخدمت لأول مرة لإعطاء تقدير لعمر الكون. وتليسكوب (هتف) جدير دائما بالاهتمام الإعلامى، كما أن تحديد عمر الكون هو حقا أحد المهام الرئيسية للتليسكوب. ولكن كانت أول النتائج، أن هذا القياس كان عرضة لاحتمالات خطأ كبيرة جدا، وهى احتمالات وضحها بأمانه علماء الفلك المساهمون فى البحث، وإن كانت التحقيقات الإعلامية قد تجاهلتها تجاهلا كبيرا، فركزت على الرقم المحورى الذى تم ذكره (حيث حسب عمر الكون بحوالى ثمانية بلايين عام)، وأوضحت تباينه مع تقدير عمر أكبر النجوم سنا بأنها تبلغ حوالى خمسة عشر

بليون عام. وسرعان ما أصبح من الواضح عن طريق أبحاث مستقلة تماما أحدها عن الآخر، أن الكون أكبر عمرا بما له قدره عن الرقم الأول الذى دل عليه تليسكوب هتف، كما أن النجوم الأكبر سنا هى أصغر عمرا بماله مغزاه عما كان يعتقد. ومواضيع بحث هذا الكتاب هى عن الأسباب التى أدت لأن يحدث ذلك، وعن البرهنة على أن أكبر النجوم سنا هى حقا أصغر عمرا من الكون الذى ولدت منه. ولكن قبل أن نغوص فى التفاصيل الأساسية ، أود أن ألقى ضوءاً مختلفا إلى حد ما على طبيعة «الخلاف» كما كان موجودا فى ١٩٩٥ . هناك درجات لما يعد أنه خطأ، ومقدار عدم اتفاق علماء الفلك والكونيات وقتها أحدهم مع الآخر حول مسألة العمر هو مقدار من مرتبة منخفضة إلى حد كبير بأى مقياس للخطأ.

وإذا كان القارئ يشك أدنى شك فيما يتعلق بنسبية الخطأ، فلينظر أمر طفل يسأل أن يتهجى كلمة «سيارة»، فيجيب بأنها «ثيارة». فهذا يعد خطأ إلى حد معين؛ ولكنه لا يقارب بأى حال الخطأ لو كانت الإجابة «سزل». أو لينظر أمر مدار الأرض حول الشمس. سيجيب أناس كثيرون عندما يطلب منهم وصف هذا المدار، بأنه دائرى. والتوصيف الأدق هو أن المدار إهليلجى. على أنه ليس أهليلجيا تماما، ووصف المدار بأنه دائرى ليس خطأ بالغا. وهو بالتأكيد لا يقارن بخطأ توصيف المدار بأنه مربع. ومقدار الخطأ فى الأفكار الفلكية حول عمر الكون، كما كان الحال فى ١٩٩٤ ،

مقدار يشابه مقدار الخطأ فى القول بأن هجاء سيارة هو «ثيارة»، أو أن مدار الأرض حول الشمس دائرى. على أن من الحقيقى أنه طوال أكثر من ثلاثين عاما لم يحدث إلا تقدم ضئيل جدا من حيث تقليل مقدار ذلك الخطأ.

بحلول نهاية خمسينيات القرن العشرين، عرف علماء الكونيات، لأسباب سوف أشرحها، وكنتيجة لأبحاث أجرى معظمها إدوين هابل وخليفته آلان سانديج، أن أقصى عمر للكون هو بين عشرة بلايين وعشرين بليون عام. وحسب لغة الحياة اليومية، يكون فى هذا هامش خطأ كبير (بعامل من ٢). ولو أن واحدا منا كان يشترى هدية عيد ميلاد لابن عم بعيد، ولم يستطع أن يتذكر إن كان عمره عشرة أعوام أو عشرين سنة، فمن الممكن أن ينتج عن ذلك ارتباك فى الأمور. أما بالنسبة لأى جيل سابق من العلماء، فإن تحديد عمر الكون تحديدا دقيقا بما يصل إلى مدى عامل من إثنين، كان سيقابل بالتهليل كواحد من الإنجازات العظيمة للذكاء البشرى والمنهج العلمى. وقد ظللنا نعرف عمر الكون بهذه الدرجة من الدقة طيلة أربعين عاما، وظل معظم علماء الفلك سعداء باستخدام قيمة توسطية تقريبية تقدر عمر الكون بحوالى خمسة عشر بليون عام.

ابتداء من منتصف سبعينيات القرن العشرين، ظهر لسوء الحظ انقسام فى معسكر علماء الكونيات. فقد وجد سانديج نفسه، هو وزملاؤه (وخاصة جوستاف تمان)، أن هناك براهين تتزايد فى

قوتها . فى صف الطرف الأكبر من مدى عمر الكون - فتقدر أقصى عمره بأكثر من خمسة عشر بليون عام، وكانت هذه البراهين لا تقل فى قوتها عن دقة الأرصاد التى تبررها . وظهر خلال نفس الفترة بالضبط معسكر منافس يرأسه جيرار دى فوكولير (ويويده أيضا سيدنى فان دين بيرج الذى سبق ذكر ما قاله فى حكاية «نيوزويك») ، واستخدم هذا المعسكر فى حالات كثيرة البيانات نفسها بالضبط لمساندة الطرف الأصغر لمدى عمر الكون - بحيث يكون أقصى عمر للكون أقل من خمسة عشر بليون سنة . ثم حدث انعطاف آخر فى ثمانينيات القرن العشرين حيث طرحت النماذج الكونية المفضلة لطريقة تمدد الكون أن كل الأرقام عن عمر الكون ينبغى تخفيضها بمقدار يصل إلى الثلث، (وإن كان من المؤكد أن التخفيض لا يزيد عن هذا الثلث) . وعلى وجه التقريب فإن هذا يجعل العمر فى معسكر سانديج حوالى اثنى عشر بليون سنة، ويجعله فى معسكر دى فوكولير حوالى ثمانية بليون سنة . وبالإضافة إلى أن المعسكرين كان أحدهما لا يتفق مع الآخر، فإنهما معا كانا فى حالة من الإرتباك بشأن العمر المقدر لأكبر النجوم سنا، وهو عمر ظل لوقتها يقدر بحوالى خمسة عشر بليون سنة (وإن كان معظم من يقفون خارج دائرة النقاش يفضلون تحديد العمر بعشرة بلايين سنة) .

إلا أن ارتباكهما هذا لم يكن ارتباكا «شديدا». ذلك أن تقديرات عمر النجوم كانت هي نفسها غير مؤكدة، فكانت تتراوح من حوالى اثني عشر بليون سنة (أي بما لا يبعد كثيرا عن الاتفاق مع التقدير الأطول لعمر الكون) إلى حوالى ثمانية عشر بليون عام (وهذا على وجه التأكيد رقم كبير مربك إن كان صحيحا، على أن من المحتمل أن فيه خطأ). أما الأمر الملحوظ حقا فهو ليس في الفروق بين كل هذه الأرقام، وإنما هو في تقاربها معا تقاربا وثيقا. تحسب أعمار النجوم من قوانين الفيزياء المعروفة، ومن رصد النجوم، والطريقة التي نحصل بها على هذه الأرقام مستقلة تماما عن الطريقة التي يحسب بها عمر الكون، فهذه الأخيرة تعتمدعلى طريقة حركة المجموعات العنقودية للمجرات مبتعدة إحداها عن الأخرى أثناء تمدد الكون. ومع ذلك، فإن كلا النوعين من الأرقام يقعان في ملعب الكرة نفسه؛ بل وأحسن من ذلك أنهما يقعان معا في الجزء نفسه من الملعب. ولو كان علماء الفلك والكونيات لا يعرفون حقا ماذا يحدث، لأمكن لنا بسهولة أن نتخيل أنهم ربما يخرجون علينا بأن «عمر الكون» هو حوالى عشرة آلاف سنة بدلا من عشرة بلايين. ويساوي ذلك، أن علماء الفيزياء الفلكية لو كانوا قد تناولوا الطرف الخطأ من خيط أبحاثهم الخاصة فلعلهم كانوا سيخبروننا أيضا بأن عمر أكبر النجوم سنا هو خمسة عشر تريليون سنة، وليس خمسة عشر بليون. فمقدار الخطأ عند مقارنة عمر النجوم بعمر الكون هو عامل أقل من اثنين - والأمر هكذا يعد فيه اتفاق حسن إلى حد كبير، إذا نظرنا نظرة اعتبار لما يكونه ما نقيسه.

وحتى نضع هذا الأمر فى منظوره الصحيح، هيا ننظر إلى مدى حجم الأجرام التى تتضمنها هذه الأبحاث. دعنا نتجاهل حقيقة أن النجوم مصنوعة من جسيمات أساسية حجمها دقيق الصغر مثل البروتونات والإلكترونات، ولنتناول كل نجم كوحدة واحدة. يبلغ متوسط قطر النجم حوالى بليون متر. وهذا هو مقياس الجرم الذى تشمله أبحاث علم الفلك لتحديد عمر النجوم. وسنجد عند الطرف الأقصى الآخر من الكيانات الكونية التى يرصدها علماء الفلك، أن متوسط مقياس المجموعة العنقودية من المجرات هو حوالى مليون بليون بليون متر. وهذا هو مقياس الجرم الذى تشمله أبحاث علم الكونيات لتحديد عمر الكون. ويصل الفارق إلى مدى من الأس ١٥ لرقم ١٠ (١٥ «درجة من المراتب» أو١٠ ^{١٥} مرة). على أن دراسةالأجرام عند كل من الطرفين القصويين تعطينا أعمارا تماثل الأعمار المستمدة من دراسة الأشياء عند الطرف الآخر من المقياس، فى نطاق عامل اختلاف من اثنين - وهذا أقل كثيرا من درجة كبر بمرتبة واحدة (أى أقل من فارق بعشرة أمثال). ووجود اتفاق بين هذين النوعين الهامين من الأرقام، التى تستمد من طرائق مختلفة أقصى الاختلاف، وكون هذا الاتفاق فى نطاق عامل من اثنين، هذا كله هو فى الحقيقة سبب لأن يسود الابتهاج بين علماء الفلك والكونيات، لا أن يسود اليأس.

لى كتاب سابق عن الكونيات («البحث عن الانفجار الكبير»، نشر أصلا فى ١٩٨٦، وصدرت له طبعة منقحة فى بنجوين

١٩٩٨)، لم أبالغ فيه بالانشغال بمثل هذه التفاصيل التافهة نسبيا، مثل وجود عدم يقين بعامل من اثنين في تقديرات عمر الكون. فكان الأمر المهم عند حكاية هذه القصة هو البرهان على أن الانفجار الكبير قد حدث حقا. على أن هناك علامة على مدى التقدم الكبير الذي حدث في علم الكونيات منذ منتصف ثمانينيات القرن العشرين، وهذه العلامة هي قصة طريقة نشأة عدم اليقين في تقديراتنا لعمر الكون، ثم حل المشكلة، بحيث أن هذه القصة جديرة الآن بسرد طويل كامل لها وحدها. وحتى يمكن رواية هذه القصة الجديدة في حيز معقول، لم أذكر هنا سوى الخطوط العريضة لنموذج الانفجار الكبير نفسه، وإذا كان القارئ يريد القصة الكاملة لبحثنا عن الانفجار الكبير فإن عليه أن يلتمسها في كتابي الأقدم، أو في أحد الكتب الكثيرة الأخرى الموجهة للقارئ العام وفيها توصيفات لمولد الكون. أما هذا الكتاب فيذهب لما بعد هذه التوصيفات، بادئا من حيث انتهت.

كما سبق لي القول، سنجد حتى ما كان هناك من عدم اتفاق هين بين هذين النوعين الرئيسيين من الأرقام، أي «تقديرات عمر أكبر النجوم سنا وتقديرات عمر الكون، حتى هذا قد اختفى الآن. وقد زال بفضل قوة البراهين التي تجمعت منذ بداية ١٩٩٥، وكلها تشير أساسا إلى نفس الاتجاه. وقد ساهم فريق من جامعة سسكس في حل جزء صغير من هذا اللغز، وكان هذا الفريق يشملني. كثيرا ما كتبت فيما مضى عن التطورات العلمية الرئيسية، ولكني كنت

أكتب دائما كمراقب من الخارج، يسجل تقريرا عن بحث لأفراد آخرين. أما هذه المرة فالأمر يخصني. ومع أن إسهامي الخاص كان مجرد إسهام لفرد واحد بين أفراد كثيرين، إلا أنني أكتب لأول مرة كواحد من داخل العمل، أسهم بنشاط في السنين الأخيرة في محاولة لتحديد عمر الكون تحديدا دقيقا.

وكان المشروع الذي بدأته بالذات، مثله مثل مشاريع كثيرة غيره، قد قدح زناده الرقم الذي أعلنه فريق (هتف) في ١٩٩٤ كتحديد لعمر الكون تحديدا بدا ظاهرا أنه غير معقول؛ وقد كنت متأكدا منذ البداية أن هذا الرقم خطأ، وذلك لأسباب ستصبح واضحة للقارئ، وليس لها أي علاقة بعمر النجوم، وهكذا صممت على إيجاد طريقة للتحقق من هذا الرقم. وقد استخدمنا تكنيكا بسيطا بساطة خلابة من حيث المبدأ (ظللت أحاول العثور على طريقة لإنجاحه على فترات زمنية متقطعة استمرت طيلة ثلاثين عاما)، وهو أيضا عندما نتكلم على وجه الدقة التكنيك «الوحيد» للقياس الفعلي للمسافات عبر الكون، وبالتالي لقياس عمر الكون نفسه (كل «القياسات» الأخرى تتضمن استدلالا عند بعض المستويات، وليس قياسا بحتا)، ولكن هذا التكنيك تطلب أن نضع موضع التطبيق قدرات رصد تليسكوب هتف نفسه، وهذا هو السبب في أنه لم يجر تنفيذه قط على نحو مرض قبل ١٩٩٧ . وكنتيجة

لذلك وللأبحـاث الأخرى التى جرى تنفيذها فى السنين القليلة الماضية، آمل أن أتمكن من إقناع القارئ بأن علماء الفلك يعرفون حقـا عمر الكون. وهذا ليس بالإنجاز المتـواضع عندما نتـذكر أن العلماء بدأوا فى القرن التاسع عشر فحسب يدركون أن هناك بداية للأرض والشمس، ناهيك عن الكون بأسره، وبدأوا بعدها يتفكرون فى مقاييس زمنية أطول دراميا من تلك المقاييس التى كان يؤيدها اللاهوتيون المعاصرون.

كل شئ إلى زوال

أكتشاف الزمان الكونى

متى بدأ الزمان؟ سيكون هذا السؤال بالنسبة لمعظم الناس خلال معظم التاريخ البشرى سؤالا بلا معنى. وأقدم وجهة نظر عن الزمان وأكثرها انتشارا فى ثقافات مختلفة مثل الهندوس والصينيين، وحضارات أمريكا الوسطى، والبوذيين بل وحتى عند الإغريق قبل المسيحية، وجهة النظر التى ترى الزمان بلغة من دورات من الميلاد والموت وإعادة الميلاد. فكان ينظر إلى الكون على أنه خالد مثل دورة الفصول المتغيرة التى تتجدد فيها الأرض نفسها تجددا مستمرا، ولكنه يتغير بإيقاع منتظم. بل وكان ينظر فى البوذية وديانات أخرى إلى الآلهةعلى أنها تعاد ولادتها مرة بعد أخرى.

أما بالنسبة للديانة المسيحية التى توصلت إلى السيطرة على الثقافة الأوروبية التى نبع منها البحث العلمى الحديث للعالم، فلا

يوجد إلا إله واحد، وليس هناك غير حدث خلق واحد فريد ولد فيه الكون. لم يبدأ البحث العلمي الحديث في أمر العالم إلا في القرن السابع عشر مع أبحاث جاليليو وديكارت ونيوتن. وحتى نهاية القرن الثامن عشر، لم يكن هناك خلاف بين تقدير عمر الكون كما حسبه اللاهوتيون والتقديرات التي قام بها العلماء، وذلك لسبب بسيط هو أن العلماء لم يكن لديهم أي أساس لصنع هذه التقديرات. وبدلا مما كانت تسمح به الديانات الأخرى من امتداد هائل للزمن القديم (ربما إلى ما لانهاية لطوله)، كانت المؤسسة المسيحية تعلم الناس أن العالم (وهو مصطلح يرادف في تلك الأيام مصطلح «الكون» الحديث) قد تم خلقه في سنة ٤٠٠٤ ق.م.

وهذا التاريخ لم ينتزع عشوائيا من الهواء كبعض حدس جامح من الكهنة، ولكنه كان بالفعل محاولة جادة لإيجاد علاقة بين الأحداث التي وضعت في الإنجيل وبين العالم بصفةعامة. وقد بدأ ذلك بطريقة علمية تماما، إلا أن الحسابات أصبحت معقدة إلى حد يثير السخرية، وذلك في وقت سبق بزمن غير طويل الوقت الذي نشر فيه اسحق نيوتن كتابه الملحمي «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية» (الذي يشار إليه عموما «بالمبادئ»)، وفيه أرسى نيوتن مبادئ المنهج العلمي الذي انتقل بنا في زمن يزيد قليلا عن ثلاثمائة سنة، من أول فهمنا لمدارات الكواكب حول الشمس إلى فهمنا لمولد الكون نفسه، ثم إلى التحديد العلمي السليم للوقت الذي وقع فيه ذلك الحدث.

يُعد تاريخ بدء الزمان الذى كان نيوتن نفسه سيتعامله، حقيقة إنجيلية قد استقيت أصلا من حسابات قام بها مارتن لوثر وزملاؤه فى القرن السادس عشر. وقد وضعوا تقديرهم على أساس أن يحسبوا وراء سلسلة الأنساب فى العهد القديم، بطول الطريق من المسيح حتى آدم نفسه، وخرجوا من ذلك بتاريخ للخلق (التكوين) فى سنة ٤٠٠٠ ق.م. وكان هذا رقما لطيفا مستديرا (ما يسميه العلماء المحدثون بأنه تقدير «بدرجة من المراتب»)، ومن المحتمل أنه يخبرنا بالفعل بشىء له معناه بالنسبة لتوقيت الأحداث التى وصفها الإنجيل. على أنه حدث فى ١٦٢٠ أن نشر الأسقف جيمس أشر كتابه «التقويم المقدس»، الذى طور فيه هذه الأفكار لأبعد. وأهم إسهام أداه أشر هو أنه أزاح القياس الزمنى وراء بأربع سنين. كان جون كبلر عالم الفلك الألمانى الرائد الذى ولد فى ١٥٧١، قد طرح أن إظلام السمــاء، أثناء صلب المسيح لابد وأنه نتج عن كسوف للشمس، وأمكن لعلماء الفلك فى زمن كبلر أن يحسبوا أن كسوفا مناسبا قد حدث فى وقت يسبق بأربعة أعوام التاريخ المرادف لذلك الذى استخدمه لوثر، واستدل من ذلك على أن كل الأحداث فى تاريخ الأنساب اللوثرى قد وقعت قبل ما كان يعتقده بأربعة أعوام - بما فى ذلك التكوين نفسه.

وإذ نقح أشر المقياس الزمنى ليجعل تاريخ التكوين فى ٤٠٠٤ ق.م. فإن هذا التنقيح كان بالفعل يذهب إلى مدى يتجاوز كثيرا دقة المنهج المستخدم - وحتى لو كان المنهج جيدا، ولو كان متبعوا

هذا المنهج قــد توصلوا إلى تاريخ الصلب بما هو صـحـيح بالضبط، فما هو احتمال أن تكون كل «الإنجابات» المسجلة فى الإنجيل مضبوطة إلى مدى من أربع سنوات؟ على أن الموقف أصبح حتى أشد سخفا فى ١٦٥٤ عندما أعلن جون لايتفوت، نائب رئيس جامعة كمبردج، أنه من دراسته للكتاب المقدس قد حدد اللحظة النهائية «للتكوين»، اللحظة المضبوطة التى خلق عندها آدم نفسه بأنها التاسعة صباحا (بتوقيت ما بين النهرين) يوم الأحد، ٢٦ أكتوبر ٤٠٠٤ ق.م . كان إسحق نيوتن فى السنة الثانية عشرة من عمره عند خرج لايتفوت بذلك الإعلان، ولم يكن كتاب المبادئ قد طبع بعد حتى ١٦٨٧ . وعلى الرغم من أن البعض ربما انتابتهم الشكوك حول «تحسين» لايتفوت للمقياس الزمنى، إلا أن تأريخ «التكوين» فى ٤٠٠٤ ق.م ظل مسجلا فى هامش «طبعة الإنجيل المرخصة رسمياً »حتى زمن طويل من القرن التاسع عشر، حينما أصبح العلم أخيرا قادرا على أن يحشد تحديات جدية للتقليد العقائدى بالنسبة لهذه النقطة. ولكن هذا لا يعنى القول بأنه لم يكن هناك بعض الأفراد ممن كانت لهم شكوكهم حول المقياس الزمنى للإنجيل، وذلك حتى قبل تكريسه فى هامش «الطبعة المرخصة رسميا».

كان هناك أمر جعل الأفراد متفتحى الذهن يعتقدون أن الأرض لها ولابد تاريخ أطول كثيرا من آلاف قليلة من السنين، وكان هذا الأمر هو سجل الحفريات الموجودة فى الصخور. وتكرر المرة بعد

الأخرى خلال السنوات الألف الماضية أن يحدث عل نحو مستقل لعلماء مختلفين أن يجابهوا بحاجتهم إلى مقياس زمنى طويل حتى يفسروا كيف وصلت البقايا المتحجرة لشتى أنواع الكائنات (Species) لأن تكون موجودة حيث توجد الآن. وأول شخص عرفنا أنه قد حيرته هذه الظاهرة، وسجل كتابة أفكاره عن ذلك بحيث حفظت لنا لنقرأها، هو العالم العربى أبو على الحسن بن الهيثم، الذى يعرف عادة عند أجيال العلماء المتأخرة بالنسخة الأوروبية لإسمه وهى «ألهازان». وقد ولد حوالى ٩٦٥ ب.م ومات فى ١٠٣٨، وبالتالى فإن فترته الانتاجية كعالم غطت عقود السنين على جانبى عام ١٠٠٠ ب.م وهو مشهور بأبحاثه فى البصريات، التى ظلت تفوق كل بحث فيها لأكثر من خمسمائة سنة (والحقيقة أن كتابه فى البصريات ترجم إلى اللاتينية فى القرن الثانى عشر، وأعيد نشره فى أوروبا تحت عنوان «كنوز البصريات» فى ١٥٧٢، وظل يعد كمرجع قياسى لأكثر من مائة عام بعدها، حتى نشر نيوتن كتابه «البصريات» فى ١٧٠٤). إلا أن الحسن كان مفكرا أصيلا فى آفاق واسعة، وقد لاحظ وجود البقايا المتحجرة للسمك فى طبقات صخرية ترتفع عاليا عن سطح البحر فى مناطق جبلية. وأدرك؛ الحسن أنه لابد من أن السمك قد مات وغطى بالرواسب فى المحيط، وأن قاع المحيط قد رفع وئيدا ليصنع الجبال - وهذه عملية من الواضح أنها تتطلب فسحة طويلة جدا من الزمان، وإن لم تكن لدى الحسن الوسيلة التى يحسب بها بالضبط طول هذا الزمن.

كان التفسير التقليدى لأصل الحفريات فى تلك الأيام هو بالطبع الفيضان الذى ورد فى الانجيل. فإذا كانت الأرض كلها قد غمرت حقا بالمياه، بما فى ذلك قمم الجبال، فإنه لن يكون هناك من حيث المبدأ أى صعوبة فى تفسير الطريقة التى تصل الأمور بها الى العثور على بقايا السمك فوق قمم الجبال. إلا أن الأمر لم يقتصر على ظهور السمك فحسب فى سجل الحفريات. فقد بين ليوناردو دافنشى (الذى عاش من ١٤٥٢ إلى ١٥١٩) أنه يمكن العثور فى جبال لمباردى على البقايا المتحجرة للبطلينوس (*) وقواقع البحر، وذلك على بعد ٤٠٠ كيلومتر من أقرب بحر (الأدرياتيكى). ولم تكن هناك طريقة يمكن أن ينتقل بها البطلينوس مسافة ٤٠٠ كيلو متر فى الأربعين يوم والأربعين ليلة التى ظل المطر مستمرا فيها مضافا إليها المائة والخمسون يوم التى غطت فيها مياه الفيضان الأرض، حسب الكتاب المقدس. كما أن هناك أجزاء كثيرة من العالم يوجد فيها حفريات مشابهة هى أبعد كثيرا عن الحدود الحالية للمحيط.

زاد هذا النوع من المحاجة إحكاما فى القرن السابع عشر على يد نيلز ستينسن (وهو دكتور دانمركى فى الطب عمل فى إيطاليا وسجل كتاباته تحت اسمه حسب نسخته اللاتينية، أى نيكولاس ستينو). وقد لاحظ وجود تشابه بين حفريات معينة وأسنان سمك القرش الحديث، وناقش فى كتاب نشره فى ١٦٦٧ قضية أن الحفريات تنتج حقا عن ترسيبات فوق قاع البحر، ترتفع فيما بعد بواسطة

(*) البطلينوس حيوانات رخوية صدفية من صنوف عديدة. (المترجم).

نشاط جيولوجي. وتبنى روبرت هوك هذه الفكرة. وهو معاصر لستينو وأحد مؤسسى الجمعية الملكية. وبحلول نهايةالقرن السابع عشر، كان هناك تحد علمى جدى لفكرة الفيضان الإنجيلى كتفسير للحفريات، وكان هناك إدراك متزايد بأن سطح الأرض قد شملته جيشانات تستطيع أن تقلب قاع البحر إلى جبال، وكان هذا بالتضمين تحديا للمقياس الزمنى للأسقف أشر. على أنه لم تكن هناك فكرة واضحة عن نوع القياس الزمنى الذى تتضمنه هذه العملية. ولم تأت أول خطوة تجاه التقييم العلمى لعمر الأرض إلا حوالى نهاية القرن الثامن عشر، وذلك فى بحث قام به عالم العلوم الطبعية الفرنسى جورج لويس ليكليرك الكونت دى بوفون.

ولد ليكليرك فى ١٧٠٧، وكان إبنا لمحامى ثرى، ودرس ليكليرك نفسه القانون قبل أن يتحول للعلم. وأصبح عالما مبرزا فى العلوم الطبيعية، ومديرا للحدائق النباتية الملكية (حديقة الملك) فى باريس، ومنحه لويس الخامس عشر فى ١٧٧١ لقب كونت دى بوفون. ومن بين اهتماماته الكثيرة، أنه كان واحدا من أول الأفراد الذين عبروا بوضوح (فى كتابه «فترات الطبيعة»، المنشور فى ١٧٧٨) عن فكرة أن كل التنوع الملاحظ فى الملامح الطوبوغرافية (*) فوق سطح الأرض يمكن تفسيره بأنه نتيجة المفعول البطىء لعمليات تجرى عبر الزمن الجيولوجى، ومازالت مرئية للآن. وبدلا من أن يكون الرب قد كون الأرض مباشرة، خرج بوفون بتفسر علمى عن أصل كوكبنا يعد معقولا (وقتها)،

(*) الطوبوغرافيا: الوصف الدقيق للأماكن أو لسماتها السطحية من هضاب وبحيرات وأنهار وطرق.... ألخ (المترجم).

طارحا انها تكونت من كرة من مادة مصهورة، انتزعت من الشمس نتيجة الاصطدام، بمذنب. والسؤال الذى يثيره ذلك هو ما طول الزمن الذى استغرقته هذه الكرة المصهورة من الصخر لتبرد إلى الحالة التى توجد بها الآن؟

والحقيقة أنه قد حدث قبل بوفون بقرن أن ذكر اسحق نيوتن فى كتابه «المبادىء» أنه إذا كانت هناك كرة فى حجم الأرض ساخنة حتى الأحمرار فإنها ستستغرق ٥٠٠٠٠ سنة حتى تبرد. ولكن هذا لم يؤخذ كتقدير جدى لعمر الأرض، ومر تقريبا من غير أن يلاحظ. فقد ذُكر بجوار ماهو أعمق منه كثيرامن التبصرات العلمية التى أمد بها كتاب «المبادىء». وعدل بوفون من تقدير نيوتن بأن أجرى سلسلة من التجارب على كرات من الحديد (ومواد أخرى) من أحجام مختلفة، كان يسخنها حتى تتوهج محمرة وتكاد تنصهر، ثم يرصد الزمن الذى تستغرقه حتى تبرد. وباستخدام هذه المعلومات، حسب أن الأرض إن كانت حقا قد تكونت فى حالة انصهار، فإنها ستستغرق ٣٦٠٠٠ سنة لتبرد إلى الحد الذى يمكن أن توجد عنده الحياة، وتستغرق ٣٩٠٠٠ سنة أخرى لتبرد الى درجة حرارتها الحالية. ودفع هذا بتاريخ خلق الأرض وراء إلى ٧٥٠٠٠ عام، أى بما يصل وراء فى الماضى الى أبعد بعشرين مرة عن التاريخ المكرس، فى النص العقيدى. ابتأس اللاهوتيون فى ذلك الوقت بتنقيح بوفون للمقياس الزمنى لتاريخ الأرض، ولانتهاك العلم لحرمة ما كان يعد أمرا يخص اللاهوتين. وكان

ذلك بداية لخلاف ظل يهدر حتى القرن العشرين، حين خرج العلم أخيرا بتقدير لعمر الأرض على أساس متين، أمكن له أن يشمل المقاييس الزمنية المطلوبة للجيولوجيا والتطور. وسنجد انه حتى مع ما حدث فى القرن التاسع عشر، من تنقيح لتقديرات عمر الأرض التى ظلت تتزايد مرتفعة على نحو درامى، إلا أنه مع مقارنة ذلك حتى بتقديرات بوفون، فإن الجيولوجيا والتطور ظلا معا يشيران دائما لمقياس زمنى أطول من أى شيء يمكن تفسيره حسب قوانين الطبيعة كما كانت تفهم وقتها.

اتخذ الخطوة التالية رجل فرنسى آخر هو جين فورييه، الذى عاش من ١٧٦٨ إلى ١٨٣٠. والإسهام الباقى لفورييه فى العلم هو أنه أنشأ تقنيات رياضية للتعامل مع ما يعرف بأنه الظواهر المتغيرة بالزمن. ويمكن استخدام تحليل فورييه مثلا لتحليل نمط معقد من تغيرات الضغط فى موجة صوتية إلى مجموعة من الموجات البسيطة، أو التوافقات الصوتية التى يمكن أن تضاف معا فتعيد انتاج الصوت الأصلى. على أن الكثرين من الفيزيائيين والرياضيين الذين يستخدمون تقنيات فورييه بسعادة كوسائل لتوفير الجهد لاينتبهون حتى إلى أنه عندما أنشأ هذه التقنيات، لم يكن ذلك بسبب أى محبة خاصة للرياضيات، وإنما لأنه كان مفتونا بالطريقة التى تنساب بها الحرارة من جرم أسخن الى جرم أبرد، فاحتاج إلى انشاء أدوات رياضية من أجل توصيف انسياب الحرارة.

وإذا كان بوفون قد قاس المعدل الذى تبرد به كتل للمادة من أحجام مختلفة، ثم مط نتائجه الامبريقية فى استقراء لتقدير المعدل الذى تبرد به الأرض كلها، فإن فورييـر قد أنشأ قوانين - أو معادلات رياضية - لتوصيف انسياب الحرارة، ثم استخدمها لحساب الزمن الذى تستغرقه الأرض لتبرد، كما أنه أيضا عمل على نحو حاسم على أن يدخل فى حسابه عاملا أغفله بوفون. فقد أدرك أن الأرض وإن كانت باردة الآن من الخارج، إلا أنها مازالت ساخنة فى داخلها (كما يبرهن على ذلك نشاط البراكين). وحرارة الصخر المصهور، الذى لايزال موجودا داخل الأرض، تزيد عن ٦٠٠ درجة بمقاس سيلسيوس، ومعادلات فورييـر يمكنها أن توصف كيف تنساب الحرارة خارجة من الداخل الساخن للكوكب خلال طبقات المادة الأبرد عند السطح - طبقات من صخر صلب تعمل كغطاء عازل حول المادة المنصهرة داخل الأرض، مبقية على الحرارة فى الداخل، ومؤكدة على أن الكوكب يستغرق حتى يبرد زمنا أطول كثيرا مما قدره بوفون. وأنا أعنى بالفعل أنه زمن أطول كثيرا. فالرقم الناجم عن معادلات فورييـر كان جد مذهل حتى أنه، فى حدود ما نعرف، لم يقنع نفسه قط بأن يسجله كتابة (أو أنه إذا كان قد كتبه، فقد أحرق الورقة التى كتبها قبل أن يراها أى فرد آخر). أما ما سجله كتابة فى ١٨٢٠، وتركه للأجيال التالية، فهو معادلة عمر الأرض، التى تتأسس على هذه الحجج. ومن السهل وضع الأرقام فى المعادلة واستخراج النتيجة، ولابد وأن فورييـر قد

فعل ذلك لنفسه. ولكنه لم يخبر أحدا قط، لأن العمر الذى خرج به كان يتجاوز أقصى خيال جامح لأى فرد فى ذلك الوقت ـ فهو ليس ٧٥ «ألف» سنة، وإنما هو ١٠٠ مليون سنة. على أنه حدث خلال خمسين سنة أن الرقم الذى كان جد كبير الى حد الإذهال حتى أن فوريير لم يستطع إقناع نفسه بتسجيله كتابه فى ١٨٢٠، هذا الرقم لم يصبح فقط معروفا على نطاق واسع، وإنما أصبح يعد صغيرا إلى حد الإرباك، وذلك فى أعقاب نشأة الأفكار الجيولوجية عن الأرض نفسها، ونظرية التطور بالانتخاب الطبيعى.

ومع أن بوفون قد أدرك أن العمليات الفيزيائية نفسها التى تعمل على الأرض حاليا يمكن أن تفسر الطريقة التى وصل بها العالم الى وضعه الحالى، إلا أن أول شخص عبر عن هذه الفكرة بأقصى قوة، وبدا أن لديه فكرة واضحة عن الفترة الزمنية المطلوبة لذلك بالضبط كان الاسكتلندى جيمس هتون، وكان أصغر من بوفون بحوالى عشرين عاما، وأجرى أبحاثه فى الجيولوجيا فى النصف الثانى من القرن الثامن عشر. كانت المعرفة الراسخة فى ذلك الوقت تقول بأن معالم الأرض مثل سلاسل الجبال ربما تكون حقا قد دفعت لأعلى بقوى جبارة، ولكن هذه الأحداث تقع على نحوكارثى، فى فترة زمنية قصيرة (لعلها حرفيا أثناء ليلة واحدة)؛ وكان من المتفق عليه أيضا على نطاق واسع أن هذا قد يستلزم قوى فوق طبيعية، وكان الفيضان الإنجيلى يضمن دائما كمثل كلاسيكى لكارثة من هذا النوع. وفى تباين مع ذلك، كانت هناك

الفكرة التى أصبحت تعرف بالمذهب الانساقى Uniformitarianism ، وهى فكرة أن العوامل الطبيعية نفسها التى نراها الآن وهى تعمل مفعولها فى الأرض هى وحدها التى نحتاجها لتفسير الطريقة التى تغيرت بها معالم الأرض عبر الزمن. إلا أنه حدث فى العلم الحديث أن أصبح التمايز ما بين الفكرتين مضببا نوعا، وذلك لأن من المتفق عليه الآن أن الأحداث التى تبدو كارثية بأى مقياس بشرى (مثل الأصطدام) الذى أتى من الفضاء لينهى عصر الديناصورات، منذ حوالى خمسة وستين مليون سنة) هى أحداث تقع بالفعل فوق الأرض من وقت لآخر. على أن النقطة التى يجب أن نضعها فى ذهننا أنه على المدى الزمنى الطويل طولا كافيا، تكون حتى هذه الحوادث النادرة (بالمعايير البشرية) جزءا من العمليات الطبيعية المتسقة التى شكلت الأرض. وكان على أتباع المذهب الكارثى فى أيام هتون أن يتصوروا كل الأحداث التى شيدت الجبال ونحتت الوديان، وكونت الجزر والمحيطات العميقة، يتصورونها كلها على أنها قد حدثت خلال فترة زمنية من ست آلاف سنة ـ حقا إنه لأمر كارثى!

ولد هتون فى ١٧٢٦، ودرس القانون والطب، ولكنه لم يمارس قط أيا منهما، واستقر فى أوائل خمسينيات القرن الثامن عشر، على أن يتخذ الزراعة مهنة له (ومع أن أباه كان أساسا تاجرا، إلا أنه كان يملك عزبة صغيرة فى برويكشاير)، ولكنه كرس الكثير من

وقته للكيمياء، كما ازداد افتتانه بالجيولوجيا، وكان ذلك (فى أول الأمر) نتيجة لدراسته للأسس الصخرية للأرض التى يزرعها. وصنع هتون ثروة فى ستينيات القرن الثامن عشر كنتيجة لابتكاره طريقة لصنع مادة كيميائية مهمة صناعيا هى كلوريد الأمونيوم، واستقر فى ١٧٦٨ فى أدنبره وكرس باقى حياته فى السعى وراء أهداف علمية (مات فى ١٧٩٧).

كان هتون مثلا أول شخص يوضح أن حرارة داخل الأرض يمكن أن تفسر، دون أى حاجة لتدخل غير طبيعى، كيف أن الصخور الرسوبية التى ترسبت فى الماء يمكنها أن تندمج فيما بعد فى صخور جرانيتية وصوانية. وقال أن الحرارة التى فى داخل الأرض مسئولة أيضا عن دفع سلاسل الجبال عاليا والتواء الطبقات الجيولوجية. وأهم كل شىء فى السياق الحالى، أنه أدرك أن هذا يستغرق حقا زمنا طويلا جدا. وكمثل واحد رائع خرج هتون بقياس بالتمثيل يستخدم نفس نوع التجربة البشرية المباشرة التى استخدمها اللاهوتيون من قبل فى حساباتهم لتاريخ «التكوين». يوضح هتون أن الطرق الرومانية التى شقت فى أوروبا منذ ألفى عام، مازالت مرئية بوضوح، وليس عليها تقريبا أى علامة للتآكل. ومن الواضح أنه فى غياب الكوارث فإن الزمن المطلوب حتى تؤدى العمليات الطبيعية إلى نحت وجه الأرض فى شكله الحالى لابد وأن يكون أطول طولا هائلا عن ألفى عام، وهو يوضح بوجه خاص أنه أكثر طولا عن الست آلاف سنة التى يطرحها

تفسير أشر للكتاب المقدس. أطول بكم من الوقت؟ لم يكن هتون ليود حتى أن يخمن ذلك. وقد كتب فى ورقة نشرتها الجمعية الملكية فى أدنبره ١٧٨٨ ليقول: «وبالتالى، فإن نتيجة بحثنا الحالى هى أننا لانجد أى أثر لبداية ـ ولا أى توقع لنهاية»، وهو بذلك يقول، أنه فيما يختص بعلم القرن الثامن عشر، فإن أصل الأرض قد ضاع فى ضباب الزمان، وأن مستقبلها كذلك بمتد بعيدا فى المستقبل على نحو لايفهم.

كان لأفكار هتون بعض تأثير فى الدوائر العلمية (كما هاجمها لاهوتيو المدرسة القديمة)، وظهر تأثيرها بوجه خاص بعد أن نشر صديقه جون بلايفير نسخة منقحة من مؤلفات هتون فى ١٨٠٢. ولكن أسلوب هتون فى الكتابة كان مكثفا بما يستغلق على الفهم (على الرغم مما كان يحدث أحيانا من أن يومض فيه مثل رائع كالمثل المذكور أعلاه)، وهكذا فإن أبحاثه لم يكن لها أثر عميق فى العالم ككل. ولم تصبح الاتساقية حقا موضوع نقاش عام هى وما تتضمنه من تمديد لمقياس الزمان الجيولوجى، إلا بعد أن تبنى الفكرة اسكتلندى آخر وعزز منها فى بداية ثلاثينيات القرن التاسع عشر، وهو الجيولوجى تشارلز ليل (الذى ولد فى ١٧٩٧، أى سنة وفاة هتون).

درس ليل القانون مثل هتون - ولكن سرعان ما حدث له مثل هتون أن توصلت اهتماماته العلمية الى السيطرة على حياته. وكان أبوه ثريا بما يكفى لأن يعوله فى شبابه، فسافر فى عشرينيات

القرن التاسع عشر فى رحلات واسعة المدى بقارة أوروبا، حيث رأى وجود أدلة على تأثيرات قوى الطبيعة وهى تعمل مفعولها مباشرة. وتأثر بالذات بزيارة قام بها للمنطقة المحيطة بجبل إتنا. وظهرت ثمار رحلات ليل فى مؤلف له من ثلاثة أجزاء هو «مبادىء الجيولوجيا» وقد نشر بين ١٨٣٠ و١٨٣٣. وكان العنوان الفرعى لأول جزء من السلسلة يحدد بوضوح موقفه: «كونها محاولة لتفسير التغيرات السابقة فى سطح الأرض بالرجوع إلى أسباب مازالت تحدث مفعولها الآن». وكان ليل، بخلاف هتون، يكتب بوضوح كتابة تصل بسهولة للأفهام، بما يفتح هذه الأفكار لأى شخص متعلم وقتذاك. والحقيقة أن مؤلفه مازال يصل بسهولة للأفهام تماما مثلما كان عليه، ومازال جديرا بأن يقرأ، وهو متاح فى طبعة من كتب بنجوين الكلاسيكية.

أثر كتاب ليل تأثيرا رائعا بالذات فى أحد الشبان وهو تشارلز داروين. ولد داروين فى ١٨٠٩، وعندما بدأ رحلته الشهيرة على السفينة «بيجل»، فى نهاية ١٨٣١، كان يعتبر نفسه، جيولوجيا فى الأساس، حسب المصطلح العلمى. وأخذ معه فى رحلته الجزء الأول من كتاب ليل الفذ، ولحق به الجزء الثانى أثناء رحلة السفينة حول العالم، وكان الجزء الثالث ينتظره عندما عاد إلى إنجلترا فى ١٨٣٦. وكتب داروين فيما بعد أن الكتاب، «قد غير كل أسلوب المرء العقلى... وعندما يرى امرؤ شيئا لم يره ليل أبدا، فإن المرء مع ذلك سيراه جزئيا من خلال عينى ليل». ويقول داروين فى

إحدى عـبـاراته الأقـوى تعبيـرا، فى سيـاق نظريتـه عن التطور بالانتخاب الطبيعى، أن ليل قد منحه «هبة الزمان». وذلك بالطبع لأن نظرية الانتخاب الطبيعى تفسر أيضا كيف أن التغيرات الكبيرة تتأتى عن عمليات اتساقية بطيئة جدا تعمل مفعولها عبر آماد هائلة من الزمان. ولا يمكن للتطور بالانتخاب الطبيعى أن يفسر كيف أن تنوع أشكال الحياة على الأرض قد تطور من سلف مشترك، إلا إذا كـان هناك مـدى هائل من الزمـان ليسـتطيع التطور فى أثنائه أن يؤدى عـمله. بعـد نشـر «أصل الأنواع» فى ١٨٥٩، أصـبـحت البيولوجيا هى والجيولوجيا معا يخبران العلماء أن الأرض لابد وأن تكون حقا قـديمة جدا، حيث «لا نجد أى أثر لبداية»؛ وبالتضمين فإن الشمس لابد وأن تكون على الأقل قديمة مثل الأرض، وإلا لما أمكن وجـود الحـيـاة وتطورها على الأرض عـبـر المدى الزمـنى اللازم. وأدى ذلك إلى أن ألقى بالبـيـولوجـيين والجـيـولوجـيين فى نزاع مـبـاشـر مع الفـيـزيـائيين، وخـاصـة مع أعظم فـيـزيـائى ذلك الوقت، اللورد كلفن.

ولم تكن المشكلة أن الفيزيائيين لا يعرفون ما يجرى. وإنما الأمر على العكس تماما. كـان الفيزيائيون بحلول منتصف القرن التاسع عشر يفهمون قوانين الطبيعة فهما كافيا لأن يمكنهم من أن يقولوا بثقة مطلقة أنه حسب قوانين الفيزياء المعروفة، لا يمكن مطلقا بأى حال أن تكون الشمس قد ظلت تسطع الزمن الطويل اللازم لداروين والجيولوجيين.

بدأ لورد كلفن حياته (وقد ولد فى ١٨٢٤) كشخص بسيط هو ويليام تومسون، وهو أيضا اسكتلندى آخر ممن لعبوا دورا كبيرا فى نمو العلم البريطانى. وكما كان تومسون فيزيائيا عظيما، فإنه كان كذلك صاحب ذهن عملى جدا، وحسب التقليد العظيم عند المستثمرين الفيكتوريين استخدم توماس مواهبه لا فحسب فى العلم، وإنما فى الهندسة أيضا، ليصنع ثروة من براءات اختراعاته ومن كونه العقل المفكر وراء أول نجاح لتشغيل كابل تلغراف عبر الأطلنطى (وكان هذا تطويرا عميقا فى ستينيات القرن التاسع عشر يماثل إنشاء قمر الاتصالات الصناعى فى ستينيات القرن العشرين) وقد منح له كنتيجة لخدماته للصناعة، ولما أضافه من ثروة لبريطانيا، وليس كنتيجة لأبحاثه العلمية، منح له أولا لقب الفروسية (فى ١٨٦٦) ثم منح لقب النبالة فى ١٨٩٢ كبارون كلفن الأول من لارجز. ومع أنه عندما أصبح من النبلاء كان قد أتم قبلها معظم أبحاثه العلمية العظيمة، إلا أنه عادة يشار إليه ببساطة حتى فى الدوائر العلمية على أنه لورد كلفن، كما يعرف الآن مقياس الحرارة المطلقة الذى ابتكره بناء على المبادئ الأساسية للديناميكا الحرارية بأنه مقياس كلفن وليس مقياس تومسون. والصفر على مقياس كلفن يساوى - ٢٧٣ درجة على مقياس سلسيوس، ولكن حجم كل درجة فى مقياس كلفن يماثل الدرجة فى مقياس سلسيوس.

كان كلفن الشخصية القمة فى الفيزياء فى بريطانيا فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر، وكان له تقريبا نفس المكانة المسيطرة فى سياق العلم الأوروبى. وقد تخرج بمراتب الشرف من جامعة كبردج فى ١٨٤٥ ، وبعد مرور سنة، وهو مازال فى الثانية والعشرين من عمره، أصبح أستاذا للفلسفة الطبيعية (الاسم القديم لما نسميه الآن الفيزياء) وذلك فى جامعة جلاسجو. وظل يشغل هذا المنصب لثلاثة وخمسين عاما، حتى اعتزل فى ١٨٩٩ . ،من بين انجازات كلفن الكثيرة فى العلم، أنه وضع أسس الدينامكا الحرارية، (فوضع صياغة القانون الثانى الشهير للديناميكا الحرارية، الذى يقرر أن الحرارة لا يمكن أن تنساب بلا مساعدة من جسم أبرد إلى جسم آخر أسخن، وكان ذلك فى ١٨٥١ ، كما أنه ساعد فى إنشاء نظرية المجال الكهرومغناطيسى. وقد أدت به دراساته فى الديناميكا الحرارية إلى أن يتفكر مليا فى مسألة عمر الأرض والشمس.

أهم ما تعلمنا إياه الديناميكا الحرارية هو أنه ما من شىء يظل باقيا للأبد. فكل الأشياء يجب أن تزول، وكل شىء ينمحى. وأدى هذا بكلفن إلى الاستنتاج المضاد بالضبط لما استنتجه هتون بشأن تاريخ الأرض. فكتب كلفن فى ١٨٥٢ : «لابد وأن الأرض كانت خلال فترة محددة فى الماضى، كما ستصبح ولابد مرة أخرى خلال فترة محددة آتية فى المستقبل، مكانا لا يصلح لسكنى الإنسان حسب تكوينه الحالى، وذلك إلا إذا كانت هناك عمليات قد

جرت، أو يلزم أنها ستجرى، مع أنها مستحيلة فى ظل القوانين التى تخضع لها العمليات المعروفة التى تجرى فى الوقت الحالى فى العالم المادى». على أنه بالطبع لا يوجد حقا أى تعارض بين تأكيد كلفن أن عمر الأرض محدد وتأكيد هتون على أننا لا نجد أى أثر لبداية فى السجل الجيولوجى. فنحن نعرف الآن أن ما كان عمرا محددا عند كلفن هو عمر طويل طولا هائلا بحيث أنه لم يكن فى الإمكان حقا اكتشاف أثر للبداية فى القرن الثامن عشر، وإن كنا نستطيع إدراك البداية حاليا بوضوح تام. على أن هناك نقطتين جديرتين بإظهارهما فيما يختص بتعليق كلفن وإسهامه المتواصل فى هذا الخلاف عبر نصف القرن التالى (مات كلفن فى ١٩٠٧). والأولى هى أن كلفن كان يعمل بصرامة داخل نطاق قوانين الفيزياء المعروفة فى زمنه، والثانية أنه بسبب مكانته الهائلة، فإن الرأى بأن الأرض لها نسبيا عمر قصير، هو بالتأكيد أقصر كثيرا من الوقت المطلوب للجيولوجيين والتطوريين ظلَ رأيا يحتفظ بنفوذه تماما فى القرن العشرين.

نقّح كلفن حجج ديناميكياته الحرارية على مراحل متتالية خلال النصف الثانى من القرن التاسع عشر، وكان هذا فى جزء منه بحافز من ضغط الجيولوجيين أولا ثم ضغط التطوريين بعدها. وكانت بعض أفكاره مبنية على أبحاث أحد معاصريه البريطانيين، جون ووترستون، كما أن الفيزيائى الألمانى هرمان فون هلمهولتز خرج بنسخ لأفكار تطابق الكثير من فكر كلفن عن الطريقة التى

قد تكتسب بها الشمس طاقتها، الأمر الذى أدى إلى أحد تلك الخلافات المريرة حول أولوية من قام بالبحث وهى خلافات كثيرا ما أصابت العلم بآفتها. على أنه لا حاجة بنا لأن نتابع كل خطوة فى تطوير كلفن لأفكاره عن الشمس، وفى وسعنا اليوم أن نوافق عن طيب خاطر على أن هلمهولتز توصل إلى نفس الفكرة مستقلا، بحيث أن المقياس الزمنى، الذى يتأتى لنا بالحساب، فيما يتعلق بحياة الشمس (أو فى الحقيقة بحياة أى نجم) كثيرا ما يسمى بالمقياس الزمنى لكلفن - هلمهولتز (وهو بالطبع يعرف فى ألمانيا بالمقياس الزمنى لهلمهولتز - كلفن). وقد طرح كلفن النسخة الكاملة لهذه الفكرة فى محاضرة بالمعهد الملكى فى لندن عام ١٨٨٧ . كانت فكرة من علم معصوم عن الخطأ، وتجرى كما يلى.

الشمس كرة كبيرة جدا من الغاز، كتلتها تقريبا ٣٣٠٠٠٠ مثل لكتلة الأرض، وقطرها تقريبا ١٠٩ مثل لقطر الأرض . وكان ينبغى أن تنكمش الشمس بسبب ما لها من وزن؛ ولكنها تبقى متماسكةبالضغط المصاحب للحرارة من داخلها. ولكن هذه الحرارة لابد وأن تأتى من مصدر ما - فقوانين الديناميكا الحرارية تبين بوضوح كبير لجيل كلفن أكثر من أى وقت سبق مطلقا، أنه يجب أن يكون هناك مصدر للطاقة للحفاظ على سطوع الشمس. ومصادر الطاقة الرئيسية المعروفة فى زمن كلفن كانت المصادر الكيميائية، وكان وقود الثورة الصناعية فى بريطانيا هو احتراق الفحم. على أنه كان من السهل إجراء حسابات بأنه لو كانت

الشمس مصنوعة بأكملها من فحم يحترق فى أوكسجين نقى، فإنها لن تستطيع الاحتفاظ بنتاجها من الطاقة إلا لآلاف قليلة من السنين. ولتحديث هذه الحجة بالتعبير عنها بلغة من الوقود الذى يوفر الطاقة للعالم الصناعى الحديث، فإنه لو كانت الشمس مصنوعة بأكملها من بنزين يحترق فى أوكسجين نقى، فإنها لن تستطيع الاحتفاظ بحرارتها الحالية إلا لحوالى ثلاثين ألف سنة.

كان نفاذ بصيرة كلفن وهلمولتز فى الفكرة التى وصل إليها كل منهما مستقلا هو أن هناك فى الواقع مصدرا آخر للطاقة، بخلاف الطاقة الكيميائية، يمكن للشمس أن تعتمد عليه - وهو الجاذبية. عندما يسقط جسم فى مجال جذبوى، فإن سرعته تتزايد بعجلة، إذ يلتقط طاقة حركية (طاقة الحركة). وإذا حدث بعدها أن توقفت حركة الجسم توقفا مفاجئا بالاصطدام بجرم، فإن الطاقة الحركية تتحول إلى حرارة، إذ تتبدد كحركة حرارية بين الذرات والجزيئات التى تكون الجسم (وبين ذرات وجزيئات الجرم الذى تصطدم به). وكان كلفن فى المراحل المبكرة من تطور فكرته، قد نظر فى أمر كمية الحرارة التى قد تنطلق عندما يتاح للشهب أو المذنبات أو عندما يتاح حتى لكواكب بأكملها، أن تصطدم بالشمس. إلا أنه أدرك بعدها أن هذا أمر غير ضرورى. فأعظم مصدر للطاقة الجذبوية، عندما يتعلق الأمر بالشمس، هو الجرم الذى له أعظم كتلة فى المنظومة الشمسية، أى الشمس نفسها.

هكذا فإن إحدى أفكار الديناميكا الحرارية التى تتسم بنفاذ البصيرة، أن الحرارة تصاحب الذرات والجزئيات التى تتحرك فيما حولها ويصطدم أحدها بالآخر - وكلما زادت سرعة حركتها زاد الجرم حرارة. ولو تخيلنا أن كل المادة التى تصنع الشمس الآن كانت موزعة فى سحابة رقيقة فى الفضاء، ثم أخذت تتجمع معا بتأثير الجاذبية لتصنع الشمس، سيكون من السهل أن ندرك الطريقة التى تتحول بها الطاقة الجذبوية إلى حرارة، عندما تتحرك كل الذرات والجزئيات بأسرع وأسرع، ويصطدم أحدها بالآخر. والحقيقة أن الفلكيين مازالوا يعتقدون بأن هذه هى فى المقام الأول الطريقة التى تتشكل بها النجوم وتصبح ساخنة. والفكرة الإضافية التى فيها بصيرة نافذة عند كلفن وهلمهولتز هى أن الشمس تستطيع حتى وهى فى وضعها الحالى ككرة غاز ساخنة ومدموجة نسبيا، أن تعتمد على ما يتبقى من احتياطيات طاقتها الجذبوية وتحولها إلى حرارة بأن تنكمش ببطء. يعنى الانكماش أن كل الجسيمات التى فى الشمس تتحرك مقتربة من المركز، هاوية إلى مجالها الجذبوى ومكتسبة طاقة حركية، بحيث أنها تتصادم أحدها بالآخر بعنف أكبر، لتصبح ساخنة. وإذا كانت الشمس تنكمش بمعدل ٥٠ مترا فحسب فى السنة الواحدة، فإنها كما حسب كلفن سوف تطلق من الطاقة ما يكفى لتفسير نصوعها الذى نرصده. وهذا المقدار من الانكماش كان أصغر جدا من أن يكتشفه الفلكيون فى القرن التاسع عشر، وبالتالى لم يكن هناك سبب واضح لرفض

الفكرة. وكان فى هذه الفكرة توسيعا هائلا للمقياس الزمنى المتاح للجيولوجيا والتطور - ولكنه لم يعد بعد هائلا بما يكفى. ويقول لنا المقياس الزمنى لكلفن - هلمهولتز بلغة تقريبية أن نجما مثل الشمس يجب أن يذوى بعد حوالى عشرين مليون سنة. إلا أن هذا كان مقياسا لايزال أقصر كثيرا من أن يفى باحتياجات الجيولوجيا والتطور. وكلما عبر كلفن عن حجته بوضوح أكبر وكلما نقح حساباته بدقة أكبر، أصبح مما يزيد وضوحا أن هناك تضاربا موجود حقا.

وفى سنة ١٨٩٢ التى منح فيها كلفن لقبه كلورد، عاد مرة أخرى لمقولته التى ذكرها فى ١٨٥٢ وجدد منها قائلا: «لابد وأن الأرض كانت خلال فترة محددة فى الماضى، كما ستصبح ولابد مرة أخرى خلال فترة محددة آتية فى المستقبل، مكانا لا يصلح لسكنى الإنسان حسب تكوينه الحالى، إلا إذا كانت هناك عمليات قد جرت، أو يلزم أنها ستجرى، مع أنها مستحيلة فى ظل القوانين التى تخضع لها العمليات المعروفة التى تجرى فى الوقت الحالى فى العالم المادى». وبحلول عام ١٨٩٧ كان قد عين الحد الأعلى لعمر الشمس بأنه أربعة وعشرين مليون سنة. إلا أنه حدث فى هذا العقد نفسه بالضبط الذى كان كلفن يتوصل فيه إلى استنتاجاته هذه التى تأسست على تطبيق معصوم من الخطأ لقوانين الفيزياء المعروفة، أن أخذ العلماء الآخرون يدركون أن ما كان يشير إليه على أنه «القوانين التى تخضع لها العمليات المعروفة التى تجرى

فى الوقت الحالى فى العالم المادى»، هذه القوانين ليست كل القصة. فقد أدى اكتشاف النشاط الإشعاعى إلى الكشف عن وجود قوانين للفيزياء غير معروفة من قبل، وعن مصادر للطاقة غير معروفة من قبل، وسرعان ما سيؤدى ذلك إلى حل التضارب بين مقاييس الزمان فى الجيولوجيا والتطور وبين مقياس زمان الشمس.

كانت تسعينيات القرن التاسع عشر زمنا مثيرا بالنسبة لعلم الفيزياء. وكثرا ما يحدث إفراط فى استخدام مصطلح «الثورة» فى العلم مثلما يحدث فى المسارات الأخرى للحياة - إلا أن الأحداث التى تلت اكتشاف أشعة إكس فى ١٨٩٥ كانت أحداثا ثورية على نحو لم يسبق أن حدث قط فى العلم.

اكتشف أشعة إكس الفيزيائى الألمانى ويلهلم رونتجن فى ١٨٩٥، وأعلن الاكتشاف فى ١ يناير ١٨٩٦ . كان رونتجن يدرس ما يسمى وقتها أشعة الكاثود (ونحن نعرف الآن أنها تدفقات من الإلكترونات)، وهى تنتج عن لوح لأنبوبة تفريغ كهربائى مشحون شحنة سالبة (أى «أنبوبة مفرغة»، أو أنبوبة أشعة كاثود، لا تختلف عن أنبوبة الصورة فى جهاز التليفزيون الحديث) واكتشف رونتجن بالصدفة أن أشعة الكاثود التى ترتطم بالجدار الزجاجى للأنبوبة تنتج شكلا ثانويا من الإشعاع؛ وكان هناك لوح كشاف على مقربة مطلى بمادة بلاتينوسيا نيدالباريوم، وعند تشغيل أنبوبة الكاثود كان الإشعاع الثانوى يجعل اللوح الكشاف متوهجا. ومع أن هذا الشكل

من الإشعاع غير المعروف من قبل قد سمى فى أول الأمر «بإشعاع رونتجن»، إلا أنه سرعان ما أصبح يعرف بأشعة إكس، أى على اسم الرمز الرياضى المعروف (X) للكمية المجهولة.

شجع اكتشاف أشعة إكس الفيزيائيين الآخرين على البحث عن أشكال «جديدة» من الإشعاع، وكان أهم هؤلاء الباحثين فى نجاحه الرائع هو هنرى بيكريل، الذى أجرى أبحاثه فى باريس. ولما كان رونتجن قد اكتشف أن أشعة إكس تأتى من نقطة ناصعة على جدار الأنبوبة المفرغة، حيث أدت أشعة الكاثود إلى أن تجعل مادة الزجاج تتفلور(*)، فإن بيكريل أخذ بسبب ذلك يبحث عن أنواع نشاط مشابهة تصحب أملاح الفسفرة (أى الأملاح التى تتوهج فى الظلام)، بما فى ذلك بعض أملاح اليورانيوم. «تشحن» المادة المفسفرة عادة بأن تعرض لضوء الشمس، وتظل بعدها متوهجة لفترة، ثم يذوى التوهج ويصبح من اللازم إعادة شحن المادة بجرعة أخرى من ضوء الشمس. وسرعان ما وجد بيكريل أن بعض أملاحه المفسفرة لا تقتصر على أن تنتج فحسب توهجا مرئيا فى الظلام، ولكنها تنتج أيضا نوعا آخر من الإشعاع. ويستطيع هذا الاشعاع أن يخرج هاربا ليضبب لوحا فوتوغرافيا قريبا، حتى وإن كان هذا اللوح ملفوفا بورق أسود سميك. وكان هذا فى حد ذاته أمرا مثيرا بما يكفى. على أنه حدث فى نهاية فبراير ١٨٩٦ أن توصل بيكريل إلى اكتشاف بالغ الإثارة.

(*) الفلورة إثارة مادة ما بإشاع جسيمى أو فوتونى لتبعث بإشعاع ضوئى مميز ذى طاقة أقل. والمصطلح منسوب لمادة الفلور، التى اكتشفت الظاهرة فيها لأول مرة. (المترجم).

كان بيكريل فى آخر سلسلة تجارب له قد جهز لوحا فوتوغرافيا، ملفوفا فى ورق أسود سميك بحيث لا يمكن أن ينفذ منه ضوء، وجهز كذلك قطعة نحاس فى شكل صليب (كان قد وجد من قبل أن الإشعاع الجديد لا يمكنه النفاذ فى المعدن). استقر صليب النحاس فوق اللوح الفوتوغرافى الملفوف، واستقر طبق من أملاح اليورانيوم فوق النحاس. كانت خطة بيكريل أن يعرض الأملاح لضوء الشمس ليعرف إن كان النشاط الناجم عن الأملاح ينتج قدرا من الإشعاع يكفى لصدع طبعة للخطوط الخارجية لصليب النحاس (كنوع من ظل للإشعاع) فوق اللوح الفوتوغرافى. على أن سماء باريس ظلت معتمة لأيام عديدة، وبسبب ذلك ترك بيكريل التجربة التى أعدها داخل صوان، وهى تنتظر جاهزة. وبعدها، فإنه ربما بسبب ما أصابه من ملل، قام على أى حال بتحميض اللوح الفوتوغرافى، حتى وإن كانت التجربة لم تتعرض لضوء الشمس. وظهر على اللوح صورة واضحة لصليب النحاس. وهكذا فإن بيكريل لم يقتصر على اكتشاف شكل جديد من الإشعاع (سرعان ما سمى بالنشاط الإشعاعى)؛ وإنما هو قد اكتشف أيضا شكلا جديدا من الطاقة، لأنه كان من الواضح أن نشاط الأملاح لم يتطلب مدخل طاقة من الشمس (وذلك بخلاف الفسفرة الطبيعية)، كما أنه لم يكن يوجد فى المنظومة أى مدخل طاقة من «صنع الإنسان»، مثل الكهرباء التى تؤدى بأشعة الكاثود إلى صنع أشعة إكس فى تجربة رونتجن. وبدا وكأن أملاح اليورانيوم تستطيع أن

تقبع هادئة وهى تشع الطاقة فى العالم كيفما اتفق، وتبثها من مصدر غير مرئى، وذلك بما يبدو كتناقض مع قانون من أكثر قوانين العلم معزة، قانون بقاء الطاقة.

تبنى فريق الزوجين مارى وبيير كورى اكتشاف بيكريل لينجزوا فيه تقدما أكبر، وكانا أيضا يجريان أبحاثهما فى باريس. وكانت مارى كورى هى التى أدخلت مصطلح المادة ذات النشاط الاشعاعى، فى ورقة بحث نشرت فى ١٨٩٨ . وبين فريق الزوجين أن كمية النشاط الاشعاعى التى فى عينة من أملاح تحوى اليورانيوم تعتمد على كمية اليورانيوم فى هذه العينة (وبالتالى فقد كان واضحا أن النشاط الإشعاعى يأتى من اليورانيوم نفسه)، وعين فريق الزوجين عنصرين جديدين لهما نشاط إشعاعى لم يعرفا من قبل (أى أنهما عنصران غير معروفين من قبل وليسا مجرد عنصرين معروفين لم يكن يعرف أن لهما نشاط إشعاعى) وهما البولونيوم والراديوم. الدلالة الرئيسية لهذا البحث هى أن النشاط الإشعاعى خاصية للذرات المفردة للعنصر - فهى أمر لا علاقة له بكيمياء أملاح اليورانيوم، أو أى مركب آخر. وبينما كان هذا كله يجرى متواصلا، كان هناك فى الوقت نفسه عالم فى كمبردج اسمه ج.ج تومسون (ليس من أقرباء لورد كلفن)، يصل إلى اكتشاف أن أشعة الكاثود هى بالفعل جسيمات مشحونة، الجسيمات التى نسميها الآن إلكترونات، وهى هنا قد تشظت على نحو ما بعيدا عن الذرات، وكانت الذرات قبلها تعد لبنات بناء المادة التى لا تقبل الهدم ولا تتغير.

ثم جاء إرنست روذرفورد الفيزيائى المولود فى نيوزيلندا فى ١٨٧١ (عاش حتى ١٩٣٧) ليكون الشخص الذى جمع كل أجزاء هذا اللغز معا، وخرج بمقياس زمانى جديد للأرض، وبين الطريق إلى مصدر طاقة جديدة للشمس. كان روذرفورد يجرى أبحاثه مع تومسون فى كمبردج فى تسعينيات القرن التاسع عشر، ثم انتقل إلى جامعة ماكجريل فى مونتريال فى عام ١٨٩٨؛ ومكث هناك حتى ١٩٠٧، حين قبل منصبا بجامعة مانشستر، فى انجلترا. ثم انتقل ثانية ليصبح مدير معمل كافنديش فى كمبردج فى ١٩١٩ . ومكث هناك بقية حياته العلمية.

الشىء العظيم فيما يتعلق بالنشاط الإشعاعى أنه يعطينا معا مقياسا زمنيا ومصدرا للطاقة فى حزمة واحدة. بين روذرفورد أن الإشعاع الذى اكتشفه بيكريل هو بالفعل مزيج من نوعين من الإشعاع، سماهما أشعة ألفا وأشعة بيتا. وقد ثبت من بعدها أن أشعة بيتا إلكترونات سريعة الحركة مثل أشعة الكاثود ولكنها تحمل طاقة أكثر كثيرا، وبين روذرفورد نفسه أن أشعة ألفا هى تيار من جسيمات، وأن كل جسيم من ألفا له كتلة تماثل كتلة أربع ذرات من الهيدروجين، وأن كل جسيم من ألفا يحمل وحدتين من شحنة موجبة. واستنتج على صواب، أن جسيم ألفا يطابق ذرة الهيلوم التى فقدت وحدتين من شحنة كهربائية سالبة - أى فقدت إلكترونين. وكانت هذه خطوة مهمة للأمام، حدثت بعد أقل من عشر سنوات من تعيين الإلكترون نفسه كأحد مكونات الذرة.

وإذا قفزنا فى قصتنا قليلا للأمام، لنصل إلى أبحاث روذرفورد فى مانشستر، سنجد أيضا أن فريقا كان يعمل تحت إدارة روذرفورد قد اكتشف البنية الأساسية للذرة. فقد أطلق هانزجيجر وإرنست مارزدن جسيمات ألفا (الناتجة عن نشاط إشعاعى طبيعى) تجاه صفحات رقيقة من رقائق الذهب، وأدهشهما أن اكتشفا أنه مع أن معظم جسيمات ألفا قد مرت مباشرة من خلال الرقائق كأنها ليست موجودة، إلا أنه كان يحدث لاغير من آن لآخر أن يرتد أحد جسيمات ألفا وراء كأنه قد اصطدم بشئ صلب. وفسر روذرفورد هذه النتائج على أنها تدل على ذرة تتكون من قلب مدموج جدا من مادة مشحونة بشحنة إيجابية (سماها النواة) تحيط بها سحابة رقيقة من الكترونات مشحونة شحنة سالبة. ويستطيع جسيم ألفا أن ينطلق بخفة خلال السحابة الالكترونية وكأنها لا وجود لها، مثل قنبلة مدفع تئز خلال ضباب متراكم. ولكن يحدث ليس إلا من آن لآخر أن جسيم ألفا (الذى يحمل هو نفسه شحنة إيجابية) يصطدم بنواة ذرة بما يكاد يكون رأسا برأس، فينحرف بسبب التنافر الكهربائى (وكأن قنبلة المدفع وهى تئز خلال الضباب المتراكم تصطدم بجرم صلب يخفيه الضباب، فترتد وراء). وحتى نضع الأمر فى المنظور الصحيح، فإن أكبر ذرة عرضها فحسب ٠,٠٠٠٠٠٠٥ من المليمتر (أى ٥×١٠ $^{-٧}$ مم)؛ وفى داخل أى ذرة، يكون حجم النواة عند مقارنتها بحجم السحابة الإلكترونية التى تصنع معظم الذرة، هو بالنسبة نفسها بين حجم حبة رمل إلى حجم قاعة ألبرت (*).

(*) قاعة مسرح ضخم فى لندن. (المترجم).

وبعد أن تسلحنا بهذه الصورة عن الذرة، يمكننا أن نعود ثانية إلى قصة النشاط الاشعاعى. تعتبر ذرة الهيدروجين مصنوعة من بروتون واحد (وهو ثقيل نسبيا ويحمل وحدة واحدة من شحنة موجبة) وإلكترون واحد (كتلته فقط جزء من الألفين من كتلة البروتون، ويحمل وحدة واحدة من شحنة سالبة)؛ أما ذرة الهيليوم فتحتوى بروتونين ونيوترونين (النيوترونات جسيمات متعادلة كهربائيا تكاد تماثل فى كتلتها البروتون) مع الكترونين خارج النواة. وجسيم ألفا يماثل بالضبط نواة هيليوم ليس معها الكترونات تصاحبها. ويمكن لنوى الذرات ذات النشاط الإشعاعى وهى فى عملية الاضمحلال الإشعاعى أن تبث إما إلكترونات (أشعة بيتا) أو نوى هيليوم (أشعة ألفا). وفى بحث لروذرفورد فى كندا مع فردريك سودى، فسر النشاط الإشعاعى بأنه يصاحب تفتت الذرات (نحن الآن نقول بفضل أبحاثه اللاحقة أنه تفتت للنوى)، عندما تتحول ذرات العنصر المشع إلى ذرات عنصر آخر. ويخبرنا هذا مباشرة بأن مصدر الطاقة المصاحبة للنشاط الإشعاعى هو على أى حال متناه، ولا ينتهك قانون بقاء الطاقة. فالنشاط الإشعاعى يتضمن إعادة تنظيم نوى الذرات إلى حالات أكثر استقرار وأقل طاقة، مع إطلاق الطاقة «الفائضة» أثناء ذلك. وهذا يرادف تماما الطاقة التى تطلقها التفاعلات الكيميائية (كما يحدث مثلا فى الاحتراق) عندما يعاد ترتيب الذرات إلى حالات من طاقة أقل، وتنطلق الطاقة الفائضة أثناء ذلك) (وهى فى هذه الحالة فى شكل

حرارة وضوء). وبمجرد أن تضمحل كل الذرات الأصلية ذات النشاط الإشعاعى فى العينة بهذه الطريقة، سنجد أن النشاط الإشعاعى هو واطلاق الطاقة سيتوقفان - ولكن قد يمر زمن طويل جدا حتى يحدث ذلك. اكتشف روذرفورد أيضا أنه أيا كانت كمية المادة ذات النشاط الاشعاعى التى نبدأ بها (فى شكل عنصر مشع نقى، مثل الراديوم أو اليورانيوم)، فإن نصف الذرات فى العينة سوف تضمحل بهذه الطريقة فى قدر معين من الوقت، يسمى الآن «عمر النصف» للعنصر. بل إن روذرفورد لم يكن عليه حتى أن ينتظر لأعوام كثيرة ليقيس أعمار النصف للمواد المهمة، لأن القانون من هذا النوع يمكن استقراؤه بمط نتائج قياس الطريقة التى يتغير بها معدل اضمحلال عينة فى المعمل عبر فترة زمنية أقصر كثيرا (وكان هذا بالطبع من أول الأمور الى نظر فيها رودرفورد، ليعرف إن كان النشاط الإشعاعى لعيناته يقل بمرور الزمن، كما يجب أن يحدث إن كان لقانون بقاء الطاقة أن يظل صحيحا).

وكمثل، سنجد فى عينة من الراديوم بعد ١٦٠٢ سنة أن نصف ذراتها لاغير قد اضمحلت إلى ذرات غاز الرادون وذلك عندما تنقذف جسيمات ألفا وبيتا من نوى الراديوم الأصلية. وسيحدث فى الأعوام الألف والستمائة والاثنين التالية أن يضمحل بهذه الطريقة نفسها نصف باقى العينة (أى ربع العينة الأصلية)، وهلم جرا. وهذه أحد المعالم الغريبة لقوانين فيزياء الكم، التى تحكم سلوك الأشياء بمقياس الذرة وما تحتها؛ وكان اكتشاف هذا النوع من

السلوك هو الذى أدى بألبرت أينشتين إلى أن يعلق فى يأس قائلا،لا أستطيع أن أصدق أن الله يلعب النرد، . على أن كل الأدلة تبين أن أينشتين كان على خطأ؛ والواقع أن الذرة المفردة (أو بدقة أكثر النواة المفردة) «تلعب النرد» بالفعل، وكأنه يحدث عند لحظة تختار ببعض طريقة عشوائية أثناء كل عمر نصف، أن تدحرج كل ذرة (أو نواة) قطعة نرد واحدة، وإذا ظهر رقم فردى فإنها تضمحل، أما إذا ظهر رقم زوجى فإنها لا تضمحل. وربما اضمحلت إحدى النوى فى الثانية التالية، أو أنها ربما لا تضمحل لآلاف السنين، وليس من طريقة لنعرف بها مقدما ما ستفعله. ولكن عندما يتعلق الأمر بمجموعة نوى عددها كبير بما يكفى، فإن السلوك العام للعينة يصبح جد منتظم وجد قابل للتنبؤ. ولا داعى لأن ننشغل بفيزياء الكم؛ فكل ما يهمنا فى حكايتنا الحالية هو ما أدركه روذرفورد من أن هذا يوفر لنا ساعة يمكن استخدامها لقياس عمر الأرض.

إذا كنا نعرف عدد الذرات المشعة التى نبدأ بها فى عينة من الصخر، سيكون كل ما علينا أن نفعله هو أن نقيس كم تبقى منها (بأن نقيس قوة النشاط الاشعاعى فى العينة) لنعرف بالضبط مقدار أعمار النصف التى مرت منذ تشكلت الصخرة. ولكن كيف سنعرف فى المقام الأول مقدار النشاط الإشعاعى الذى كان فى الصخرة؟ أول معالجة للمشكلة هى أن نعثر على عملية اضمحلال إشعاعى تؤدى إلى ناتج مستقر لن يوجد مطلقا بأى طريقة أخرى

فى العينات موضع الدراسة. وبعدها نقيس ببساطة مقدار ما يوجد من هذا الناتج «الإبن» فنعرف كم كان مقدار «الوالد» المشع الذى اضمحل من قبل.

تناول روذرفورد نفسه هذه المشكلة أولا فى ١٩٠٥، بأن قاس آثار الهيليوم المحتبسة داخل الصخور التى تحوى مركبات يورانيوم. ولا يمكن أن يكون إنتاج الهيليوم إلا بواسطة جسيمات ألفا تنتج من اضمحلال اليورانيوم، فيتعلق كل جسيم ألفا بإلكترونين ليصبح ذرة هيليوم. وحصل روذرفورد من ذلك هو وزميله بيرترام بولتوود (كيميائى أمريكى مقره الرئيسى فى ييل، وقام بزيارة لما نشستر فى ١٩٠٩ ـ ١٩١٠) على تقدير من ٥٠٠ مليون سنة لأعمار الصخور المتعلقة بالدراسة . وحيث أن أى هيليوم كان موجودا والصخور فى حالة انصهار سيكون قد فر بعيدا، كما أن بعض الهيليوم ربما يكون قد تسرب بعيدا خلال شقوق الصخر، فإن هذا التقدير هو أدنى حد للوقت الذى مر على تشكيل هذه الصخور ـ وهو زمن ليس كثيرا جدا كحد أدنى لعمر الأرض. على أنه كان أطول بعشرين مثل عن الحد الأقصى للمقياس الزمنى الذى حسبه كلفن للشمس منذ أقل من عشر سنوات سابقة ـ وهذه فحسب مجرد البداية.

كان إسهام بلتوود الرئيسى هو أنه انتقل بالتكنيك لمرحلة أبعد، باحثا أمر كل نواتج اضمحلال اليورانيوم، وليس الهيليوم فحسب.

وأدرك أن الناتج النهائى المستقر الذى يتحول إليه اليورانيوم بالاضمحلال هو الرصاص، مع ظهور الراديوم كناتج توسطى غير مستقر. وحيث أن معدلى الإضمحلال (عمرى النصف) لليورانيوم والراديوم كلاهما معروفان، فإن فى الإمكان من حيث المبدأ تحديد أعمار الصخور بقياس مقادير كل ما فيها الآن من هذه المواد، مع افتراض أنه لم يكن يوجد أى رصاص عند البداية. على أن الجانب العملى من هذا البحث كان أبعد من أن يكون سهلا - فهو يتطلب أن تقاس بدقة آثار الراديوم فى شتى عينات الصخور، وهى آثار مقدارها يصل فقط إلى ٣٨٠ جزء فى البليون. على أنه بحلول نهاية العقد الأول من القرن العشرين أعطى البحث أعمار مختلف عينات الصخور فى مدى يتراوح من ٤٠٠ مليون سنة حتى مايزيد عن بليونى سنة، وإن كان ذلك مع شيء من عدم اليقين فى التقديرات.

استمر كل من روذرفورد وبولتوود فى أداء أبحاث من نوع آخر، إلا أن آرثر هولمز تابع حمل المشعل، وكان وقتها يعمل فى الكلية الملكية فى لندن. وأخذ هولمز فى تأريخ عينات صخور كثيرة مستخدما تكنيك اليورانيوم - الرصاص، وبحلول ١٩١٣، توصل إلى أن عمر أكبر هذه العينات سنا هو ١,٦٤ بليون سنة، وذلك مع أخطاء تجريبية بسيطة نسبيا. وكان هولمز هو الذى جعل من كل أشغولة التأريخ بقياس الإشعاع أشغولة محترمة كما أصبح معروفا عنها. وهو أول شخص استخدم التأريخ بالنشاط الإشعاعى (وهذا

مصطلح يستعمل كمرادف للتأريخ بقياس الإشعاع) لتحديد أعمار الحفريات، فوضع لأول مرة تواريخ مطلقة في سجل الحفريات، ووسع من التكنيك عبر السنوات التالية بأن أضاف له أفكار واكتشافات جديدة، من أهمها حقيقة أن هناك عناصر كثيرة تتأتى في أنواع مختلفة، تسمى النظائر.

نظائر العنصر الواحد كلها لها نفس الخواص الكيميائية، لأن كل ذرة لها في نواتها العدد نفسه من البروتونات، وبالتالي العدد نفسه من الإلكترونات في السحابة المحيطة بالنواة. وفيما يختص بالكيمياء، فإن كل ما يهم هو عدد الإلكترونات الموجودة في السحابة، فهذا هو الوجه المرئي الذي تظهره الذرة للذرات الأخرى. ولكن النظائر المختلفة للعنصر نفسه يكون لها أعداد مختلفة من النيوترونات في نواة كل منها، وبالتالي تكون لها كتل مختلفة. ويؤثر العدد الكلي للنيوترونات التي بالنواة في استقرار هذه النواة. وكمثل فإن اليورانيوم يأتي بالفعل في أنواع مختلفة، وأكثر ماله علاقة بهذا الأمر هو (يو-٢٣٨) و (يو -٢٣٥). ويوجد في كل ذرة يورانيوم ٩٢ بروتونا في نواتها، ولكن كل نواة من يو -٢٣٨ تحوي بالإضافة إلى ذلك ١٤٦ من النيوترونات، بينما تحوي كل نواة من يو -٢٣٥ عددا من ١٤٣ نيوترونا مع ما فيها من ٩٢ برتون. وكنتيجة لذلك فإن يو -٢٣٨ (الذي يكون حوالي ٩٩ في المائة من كل اليورانيوم الموجود طبيعيا على الأرض) له عمر نصف من ٤،٥١ بليون سنة، بينما يو -٢٣٥ (الذي يكون

حوالى ٠,٧ فى المائة من كل اليورانيوم الموجود على الأرض) له عمر نصف من ٧١٣ مليون سنة لاغير. وهناك نظائر أخرى لليورانيوم أشد ندرة، ولكنها مما لايلزم أن ننشغل به هنا. وما يهمنا، من غير دخول فى التفاصيل، هو أن العلماء عندما فهموا طبيعة النظائر، وأصبح لديهم التكنيكات المطلوبة لقياس درجات الوفرة النسبية للنظائر المشعة المختلفة هى وأبنائها الناتجة عنها فى عينات الصخور، فإن كل عملية التأريخ بقياس الإشعاع أصبحت أكبر دقة بكثير.

أثناء ١٩٢١، دار نقاش فى الاجتماع السنوى للجمعية البريطانية لتقدم العلم، تبين منه أن هناك اتفاق رأى جديد. فقد اتفق كل علماء الجيولوجيا والبيولوجيا، والحيوان، ومعهم الآن كذلك علماء الفيزياء على أن الأرض لابد وأن عمرها يصل إلى عدة بلايين من السنين، واتفقوا كلهم على أن تكنيك التأريخ بقياس الإشعاع يوفر أحسن مرشد لعمر الأرض. ثم أتى ختم الموافقة النهائى فى ١٩٢٦، فى شكل تقرير من المجلس القومى للأبحاث للأكاديمية القومية للعلوم فى الولايات المتحدة، وهو تقرير صادق على التكنيك. ومنذ عشرينيات القرن العشرين أدى المزيد من تنقيحات التكنيك (واكتشاف صخور قديمة بوجه خاص فى بعض المواقع فوق الأرض) إلى أن اندفعت وراء لمدى أبعد تلك الأعمار التى يحددها القياس الإشعاعى لأقدم الصخور المعروفة. واصل هولمز نفسه البحث فى هذا التكنيك (وذلك إلى جانب أبحاث أخرى)

حتى نهاية خمسينيات القرن العشرين (مات هولمز عام ١٩٦٥، وعمره خمسة وسبعون عاما) ووصل التقدير الحالى لأعمار أقدم الصخور فوق الأرض إلى ٣,٨ بليون سنة. ومع ذلك فإن هذا حتى ليس ختام القصة - فقد تم بالطريقة نفسها تأريخ المادة الموجودة فى النيازك، أى قطع الحطام الصخرية التى تهوى للأرض من الفضاء، ووجد أن أقدم قطع هذا الحطام الكونى لها عمر من حوالى ٤,٥ بليون سنة. وحيث أن من المعتقد أن النيازك عينات من مادة صخرية تخلفت عن تشكيل الكواكب عند ولادة المنظومة الشمسية، فإن هذا هو الآن أفضل قياس لدينا لعمر المنظومة الشمسية، وهو بالتضمين أفضل قياس لعمر الشمس. وهذا ليس عشرين مثل لاغير لتقدير كلفن، الذى تأسس على التطبيق الدقيق للقوانين المعروفة لفيزياء القرن التاسع عشر، وإنما هو «مائتا» مثل لتقدير كلفن. وسبب هذا التضارب هو بالطبع أن هناك قوانين فيزيائية لم تكن معروفة لعلم القرن التاسع عشر.

أتى أول مفتاح للغز من النشاط الإشعاعى نفسه. يطلق الاضمحلال الإشعاعى طاقة كانت مختزنة فى نوى الذرات. وسنجد فى حالة النظائر طويلة العمر مثل يو - ٢٣٨، أن الطاقة ربما ظلت مختزنة على هذا النحو طيلة بلايين السنين، منذ تم إنتاج اليورانيوم. (كيف حدث أول كل شىء أن دخلت الطاقة هناك؟ لقد وضعها هناك انفجار نجم يموت، كما سأشرح بعد قليل). أما مالم يستطع بوفون وفورييه ومعاصروهما أن يدركوه

فهو أن الارض لم يحدث ببساطة أن بردت إلى وضعها الحالى بعد أن كـانت كـرة من مـادة مـصـهـورة، وإنما هى تحـافظ على حرارتها الداخلية بالطاقة المنطلقة من الاضمحلال الإشعاعى الذى مـازال مستمرا فى داخلها. وهذا يدفع وراء تقديرات «عمر تبريد» الأرض إلى المنطقة نفسـهـا من الزمـان التى يدل عليـهـا التـأريخ بالقياس الإشعاعى، أى إلى بلايين السنين. وقد اتضح سريعا جدا لجيل روذرفورد من الفيزيائيين أنه ربما هناك بعض مصدر لطاقة إشعاعية يبقى الشمس ساطعة لفترة طويلة تماثل ذلك.

عندما علق لورد كلفن على الأمر، كما كان يفعل فيما تأخر من حياته العلمية، قال أن الطريقة الوحيدة لأن يتوفر مقياس زمنى للشمس أطول من عـشـرات مـعـدودة من مـلايين السنين، تتطلب التماس مصادر طاقة غير معروفة وقوانين للفيزياء جديدة، ومن الواضح من سياق هذه التعليقات أنه كان يعنى بها أن تؤخذ على أنها تسخـر من هذه الأفكار، وليس أن تؤخذ جديا. ومع ذلك فإنه عند نهاية القرن التـاسع عـشـر مـبـاشـرة، كان هناك جـيـولوجى أمـريكى، هو تومـاس تشمبرلين، على وعى شديد بالاكتشافات الجديدة التى قام بها بيكريل وآل كورى، وأدلى تشمبرلين بتعليق أكثر تبصرا بكثير فى مجلة «ساينس» (الجزء ١٠، ص١١) فقال:

«هل معرفتنا حاليا فيما يتعلق بسلوك المادة وهى تحت ظروف خارقة للمعتاد كما يحصل فى الداخل من الشمس، هى معرفة

شاملة بما يكفى لتبرير التأكيد بأنه لا تكمن هناك أى مصادر حرارة لا ندركها؟ إن ماهية التركيب الداخلى للذرات مسألة ربما لاتزال مفتوحة للتساؤل. وليس من غير المحتمل أن تكون الذرات تنظيمات معقدة ومواضع لطاقات هائلة. ولاريب أنه ما من كيميائى حريص سيؤكد على أن الذرات هى حقا وحدات أولية أو أنها ربما لا تحبس بداخلها طاقات بدرجة من المرتبة الأولى. وما من كيميائى حذر سوف ... يؤكد أو ينكر أن الظروف الخارقة الكامنة فى مركز الشمس ربما لاتطلق سراح جزء من هذه الطاقة».

ولكن ما هو بالضبط مقدار الطاقة التى يجب تحريرها من تلك «المواضع للطاقات الهائلة» لتبقى الشمس ساطعة؟ من أروع أساليب القياس بالتمثيل، ما ذكره الفيزيائى جورج جاموف، فى كتابه «نجم إسمه الشمس»، الذى نشر فى أوائل ستينيات القرن العشرين. لنفرض أنه صدر إعلان عن راووق (*) للقهوة بأنه جد فعال حتى أنه ينتج حرارة بالمعدل نفسه الذى تنتج به الحرارة (فى المتوسط) عبر كل حجم الشمس، ثم يسأل جاموف، ماطول الوقت الذى ينتظر فيه الوعاء حتى يغلى الماء لصنع القهوة؟ والإجابة المدهشة على سؤال جاموف هى أنه حتى لو كان الوعاء معزولا عزلا كاملا بحيث لا يمكن لأى حرارة أن تفر منه أثناء انتظارنا له، فإن الماء سيستغرق أكثر من سنة حتى يغلى (والزمن هنا لا يعتمد على حجم وعاء القهوة).

(*) الراووق جهاز صنع القهوة الفرنسية أو الإيطالية. (المترجم).

ومفتاح حل هذا اللغز هو أنه «فى المتوسط» سينتج عن كل جرام من كتلة الشمس مقدار صغير جدا من الحرارة. وتبين القياسات الفلكية أن هناك ٣,٨×١٠ ²⁵ من سعرات الطاقة الحرارية تعبر سطح الشمس فى كل ثانية. ولكن كتلة الشمس هى ٢×١٠ ³³ جرام. وبالتالى فإنه يحدث «فى المتوسط» أن كل جرام من المادة داخل الشمس يولد لاغير ٤,٤ × ١٠ ⁻⁸ من سعرات الحرارة لكل ثانية. وهذا المقدار لايقتصر على أنه مقدار صغير بمعايير توليد الحرارة فى راووق القهوة المتوسط - وإنما هو أقل كثيرا من المعدل الذى تتولد به الحرارة فى جسمنا من خلال العمليات الكيميائية التى تصاحب أيض البشر.

لو كانت الشمس كلها لها نشاط إشعاعى هين لاغير، فإنها تستطيع أن تنتج طاقة من النوع الذى نراه ينبثق منها فى شكل حرارة وضوء. حدث فى ١٩٠٣، أن أجرى بييركورى وزميله ألبرت لابورد، قياسا بالفعل لمقدار الحرارة التى تنطلق من جرام واحد من الراديوم، ووجدا أنه ينتج فى ساعة واحدة مقدارا من الطاقة يكفى لرفع درجة حرارة ١,٣ جرام من الماء من درجة صفر مئوية إلى درجة غليانه. ويولد الراديوم حرارة تكفى لأن تذيب فى الساعة الواحدة - كل ساعة واحدة، وزنا مماثلا من الثلج. وقد أوضح عالم الفلك الإنجليزى ويليام ويلسون فى يوليو من نفس العام، إنه فى تلك الحالة، لو كان هناك فحسب ٣,٦ جرام من الراديوم موزعة فى كل متر مكعب من حجم الشمس فإن هذا يولد حرارة تكفى لتفسير كل الطاقة التى يشعها سطح شمس الآن.

وكما سنرى، فإننا لم ندرك إلا فيما بعد أن «الطاقات الهائلة» التى أشار لها تشمبرلين لا تنطلق من محبسها إلا فى منطقة دقيقة الصغر فى قلب الشمس، حيث تنتج هذه الطاقات كل الحرارة المطلوبة للحفاظ على كتلة المادة الضخمة من فوقها.

على أن النقطة المهمة هى أن من الواضح أن النشاط الإشعاعى يوفر مصدرا محتملا للطاقة يكفى لتفسير مخرج الطاقة من الشمس. لم يعرف أحد فى ١٩٠٣ من أين تأتى الطاقة التى يطلقها الراديوم (وغيره من المواد المشعة)؛ إلا أنه حدث فى ١٩٠٥ أن ظهر تلميح آخر لمصدر الطاقة التى تنطلق لتزود بقوتها الشمس والاضمحلال الإشعاعى، وذلك عندما نشر أينشتين نظريته عن النسبية الخاصة، التى أدت إلى أشهر معادلة فى العلم، ط = ك س٢، التى تبين العلاقة بين الطاقة والكتلة (أو الأحرى أنها توضح أن الكتلة شكل من الطاقة). وهذا هو المصدر النهائى للطاقة فى الاضمحلالات الإشعاعية، حيث تأكد لنا الآن من القياسات الدقيقة لأوزان كل المنتجات الإبنة التى تتضمنها هذه العمليات، أن الوزن الإجمالى لكل المنتجات يكون دائما أقل قليلا من وزن النواة المشعة الأصلية ـ فقد تحولت الكتلة «المفقودة» مباشرة إلى طاقة، بما يتفق ومعادلة أينشتين.

بل وحتى من غير أن نعرف الطريقة التى يتبعها نجم كالشمس لتفيذ حيلة تحويل الكتلة إلى طاقة، فإننا نستطيع استخدام معادلة

أينشتين لنحسب ما هو مقدار المادة التى يلزم استهلاكها على هذا النحو فى كل ثانية للإبقاء على الشمس ساطعة. وعموما، سيلزم تحويل ما يقرب من ٥ ملايين طن من الكتلة إلى طاقة خالصة فى كل ثانية للإبقاء على الشمس ساطعة. ويبدو هذا مقدارا هائلا، وهو حقا هكذا، بمقاييس الحياة اليومية - ويساوى تقريبا تحويل خمسة ملايين فيل ضخم إلى طاقة خالصة فى كل ثانية. إلا أن الشمس كبيرة جدا حتى أنها لا تكاد تلحظ هذا القدر من الكتلة المفقودة. وإذا كانت حقا قد ظلت تسطع طوال ٤,٥ بليون سنة، كما يدل على ذلك التأريخ بالقياس الإشعاعى لعينات النيازك، وإذا كانت حقا قد ظلت تفقد كتلتها بهذا المعدل النشط طيلة ذلك الوقت كله، ستكون إذن كتلتها بوجه عام قد انخفضت فحسب بحوالى ٤ فى المائة منذ تشكلت المنظومة الشمسية.

بحلول ١٩١٣، كان روذرفورد يقول معلقا أنه «يبدو من الممكن أنه عند درجات حرارة الشمس الهائلة قد تحدث عملية تحول فى العناصر العادية تماثل ما لوحظ فى العناصر المشعة المعروفة»، ثم يضيف، «قد يكون الزمن الذى ستواصل الشمس خلاله بث الحرارة بمعدلها الحالى، زمنا أطول كثيرا من القيمة التى حسبت من المعطيات الديناميكية المعتادة (مقياس زمان كلفين - هلمهولتز).

وإذن، فإنه بحلول العقد الثالث من القرن العشرين، كان الخلاف الكبير حول العمر قد انتقل انتقالا حاسما بعيدا عن سطح الأرض

ليخرج إلى الفضاء وأصبحت الأدلة العلمية على أن عمر الأرض هو بلايين معدودة من السنين، أدلة تفرض نفسها بقوة، وظهرت تلميحات واضحة من نظرية النسبية الخاصة ومن وجود العناصر المشعة على الأرض تدل على أن هناك مصدرا للطاقة يمكن أن يبقى الشمس والنجوم ساطعة، بما يصل على الأقل لهذا الزمن. ولكن ما هى الطريقة التى تنجز بها هذه الحيلة؟ وما هو بالضبط عمر أكبر النجوم سنا؟

حدود العمر

أكبر الأشياء عمراً فى الكون

قبل عشرينيات القرن العشرين، لم يكن هناك أحد يعرف كيف تعمل النجوم. وكانت هناك فكرة مازالت باقية تتلكأ، تقول بأن الشمس ربما تولد الحرارة بالانكماش، وذلك على الرغم من مشكلة مقياس الزمان، وعلى الرغم من وجود أدلة من دراسات النشاط الإشعاعى على أن نوى الذرات تحوى مستودعا للطاقة لم يكن معروفا لكلفن وسابقيه. وكان هذا ببساطة لأنه لم يكن هناك أحد قد خرج بعد بتفسير عن كيف أن الطاقة النووية، كما نسميها الآن، يمكن أن تنطلق بأطراد فى الداخل من النجوم. أما الشخص الذى أشار على الفلكيين بالطريق الصحيح، وابتكر فى الواقع علم الفيزياء الفلكية فهو آرثر إدنجتون عالم الفلك والفيزياء البريطانى.

ولد إدنجتون فى ١٨٨٢، وتخرج من جامعة كمبردج فى ١٩٠٥، وهى السنة التى نشر فيها أينشتين نظريته عن النسبية الخاصة، وبالتالى كان إدنجتون عضوا فى أول جيل من الباحثين الذين لاقوا أفكار نظرية النسبية (بما فى ذلك ط= ك س٢) وهم فى أول بداية حياتهم المهنية. توصل إدنجتون من بين إنجازات أخرى كثيرة (كان أستاذا لكرسى بلوم للفلك والفلسفة التجريبية فى كمبردج ١٩١٢ وعمره تسعة وعشرون عاما، ومديرا لمراصد كمبردج فى ١٩١٤)، إلى أن يعمل سكرتيرا أكاديميا للجمعية الفلكية الملكية فى ١٩١٥، وكان أينشتين وقتها قد أستكمل نظريته عن النسبية العامة. ومع أن ذلك كان فى منتصف الحرب العالمية الأولى ولم تكن هناك اتصالات علمية مباشرة بين بريطانيا وألمانيا، إلا أن أينشتين أرسل نسخا من أوراق بحثه إلى ويليام دى سيتر فى هولندا المحايدة، ومررها دى سيتر إلى إدنجتون، بصفته الرسمية فى الجمعية الفلكية الملكية. كان إدنجتون فى المركز الملائم تماما لنشر أخبار إنجاز أينشتين فى العالم المتكلم بالإنجليزية، وسرعان ما أصبح المرجع الرئيسى للنظرية الجديدة خارج ألمانيا. وبعد انتهاء عداوات الحرب بزمن قصير، كان إدنجتون هو الذى قاد بعثة الكسوف، التى قاست بنجاح فى ١٩١٩ طريقة انحناء الضوء بفعل الشمس، مؤكدا أحد تنبؤات نظرية أينشتين. وأصبح أينشتين فى التو شخصية عالمية، والصورة النموذجية الأولى للعبقرى العلمى؛ كما أصبح لإدنجتون مكانة فى

بريطانيا تكاد فى عظمتها تماثل مكانة أينشتين، وأصبح له نفوذ هائل. أما إنجازه الباقى فهو تطبيقه لقوانين الفيزياء على الظروف التى تعمل مفعولها داخل النجوم، مفسرا مظهرها العام بلغة من القوانين المعروفة التى تبين العلاقة بين الحرارة، والضغط، والكثافة وما إلى ذلك فى داخل النجوم.

واستغرق استنباط كل التفاصيل زمنا من عقود من السنين. إلا أن إدنجتون أعلن آراءه بوضوح فى هذا الموضوع فى حديث ألقاه ١٩٢٠، فى الاجتماع السنوى للجمعية البريطانية لتقدم العلم، الذى عقد فى ذلك العام فى كارديف فقال:

«لم يبق فرض الانكماش حيا إلا كقصور ذاتى للتراث - أو الأحرى أنه ليس حيا، وإنما هو جثة لم تدفن. على أننا وقد قررنا دفن الجثة، فلنتبين إذن ونحن متحررون أى وضع تركنا فيه. النجم يعتمد على بعض مستودع هائل للطاقة بوسائل غير معروفة لنا. وهذا المستودع لا يمكن أن يكون إلا الطاقة تحت الذرية، والتى كما هو معروف، توجد بوفرة فى كل المادة؛ ونحن نحلم أحيانا أن الإنسان سوف يتعلم يوما كيف يطلق هذه الطاقة ويستعملها لخدمته. وهذا مستودع لا يكاد ينفد، لو أمكننا فحسب أن نجعله فى متناولنا. وهناك فى الشمس من الطاقة ما يكفى للإبقاء على نتاجها من الحرارة لخمسة عشر بليون عام...

هذا وقد أوضح أستون أيضا على نحو حاسم أن كتلة ذرة الهيليوم هى حتى أقل من كتل ذرات الهيدروجين الأربع التى تدخل فيها ـ والكيميائيون على أية حال يتفقون معه فى ذلك ويحدث فى هذا التركيب فقدان للمادة يصل قدره إلى جزء واحد من ١٢٠، حيث أن الوزن الذرى للهيدروجين هو ١,٠٠٨ والوزن الذرى للهيليوم هو ٤ فقط . ولن أسهب فى الحديث عن برهانه هذا الجميل، حيث يمكنكم ولا ريب سماع ذلك منه هو نفسه.

والآن فإن الكتلة لا يمكن أن تبيد، ولا يمكن للفارق إلا أن يكون ممثلا لكتلة الطاقة الكهربائية التى انطلقت حرة فى هذا التحول من عنصر لآخر، وبالتالى، ففى استطاعتنا فى التو أن نحسب مقدار الطاقة التى تتحرر عندما ينتج الهيليوم من الهيدروجين. وإذا كانت نسبة خمسة فى المائة من كتلة النجم تتكون بداية من ذرات هيدروجين، يحدث لها تدريجيا أن تتحد لتكون عناصر أكثر تركبا، فإن إجمالى الحرارة المنطلقة سيكون أكثر مما يكفى لاحتياجاتنا، ولن نحتاج لأن نبحث عن مصدر آخر لطاقة النجم.

وكما توضح هذه الفقرة، فإن إدنجتون كان يوصل الآراء بذكاء، الأمر الذى كان يفيده فى تمرير أفكاره ـ وقد ألف مراجع علمية لها أهميتها المؤثرة، كما ألف أيضا كتب تبسيط العلم للجماهير.

ويبدو اليوم فى هذه المقولة بالذات وجود بصيرة رائعة، حيث أننا نعرف الآن أن النجوم مثل الشمس تولد الحرارة حقا بتحويل

الهيدروجين إلى هيليوم. ولكن هذا التنويه بأن نسبة ٥ فى المائة فحسب من كتلة النجم تتكون من الهيدروجين يعطينا إشارة بالضبط عن مدى طول الطريق الذى سيكون على علماء الفيزياء الفلكية أن يقطعوه حتى يصلوا إلى هذا الإستنتاج. ففى ١٩٢٠، كان مازال هناك اعتقاد بأن تركيب الشمس يماثل تقريبا تركيب الأرض، وكان إدنجتون يبين مدى قلة الهيدروجين الذى يلزم لتوفير الوقود النووى المطلوب لإبقاء الشمس ساخنة. ولم يحدث إلا عند نهاية عشرينيات القرن العشرين أن بينت الدراسات الطيفيةلضوء الشمس أن مقدار ذرات الهيدروجين فى جو الشمس يصل بالفعل إلى ما يبلغ على الأقل مليون مثل لكل ما يوجد معا من أى ذرات أخرى (فيما عدا الهيليوم)، ولم يتضح إلا عند نهاية الأربعينيات أن النجم كالشمس يكون فى معظمه مكونا بالفعل من حوالى ٧٠ فى المائة هيدروجين، و٢٨ فى المائة هيليوم، ثم أثر صغير لاغير من كل الأشياء الأخرى. أما قوة بصيرة إدنجتون التى أدت إلى مولد الفيزياء الفلكية فى عشرينيات القرن العشرين، فهى قوله أننا حتى نصف ما يحدث داخل أحد النجوم، لانحتاج لأن نعرف من أين يحصل على طاقته. فقوانين الطبيعة تخبرنا بأن كرة الغاز التى تحوى قدرا معينا من المادة وتبقى متماسكة بفعل ما بداخلها من ضغط، لابد وأن لها حجما معينا، وأنها تشع قدرا معينا من الطاقة، بصرف النظر تماما عن مصدر هذه الطاقة.

النجم كالشمس يسلك حقا، بطرائق كثيرة، مثل كرة من الغاز، ويخضع لنفس القوانين التى تنطبق على الهواء الذى نتنفسه. ويصدق هذا حتى وإن كانت الكثافة عند قلب الشمس تصل إلى عدة أمثال لكثافة الرصاص - إلا أن «متوسط» كثافة الشمس هو فحسب مثل ونصف المثل لكثافة الماء) . والسبب فى أن المادة وهى بهذا القدر المتطرف من الكثافة تسلك كغاز هو أن الحرارة بالغة الارتفاع بحيث تنتزع الالكترونات عن الذرات تاركة وراءها نوى عارية. وسنجد فى الهواء الذى نتنفسه، أن الذرات الفردية (أو الجزيئات) تحلق فيما حولها فى فراغ خاوى، مرتدة إحداها عن الأخرى وهى تفعل ذلك. ونوى الذرات أصغر كثيرا عن الذرات بحيث أنها وهى داخل الشمس يمكنها أن تحلق حرة فيما حولها، مرتدة إحداها عن الأخرى وهى تئز خلال الفراغ ما بين النوى، حتى وهى عند تلك الكثافات المرتفعة (كما تئز الإلكترونات المنتزعة فيما حولها بين النوى، ليكونا معا ما يسمى بالبلازما) . دعنا نتذكر أن حجم النواة بالنسبة لحجم الذرة يماثل حجم حبة الرمل فى قاعة حفلات للموسيقى؛ ويمكننا أن نضع الكثير من حبات الرمل فى قاعة موسيقى بدون أن تلمس إحداها الأخرى.

أدرك إدنجتون أن ما يمكن أن يحدث لكرة غاز فى الفضاء هو فقط ثلاثة أمور. عندما تتقلص كرة الغاز هذه بفعل وزنها فإنها ستسخن فى منتصفها، لأن الطاقة الجذبوية التى يطلقها الانكماش تجعل الذرات والجزيئات فى الغاز تتحرك حركة أسرع - وذلك كما

فسر الأمر بالضبط كلفن وهلمهولتز. وإذا كانت كرة الغاز صغيرة نسبيا فإنها لاتصبح ساخنة جدا، ولا تنتزع الإلكترونات عن الذرات، وترسو كرة الغاز فى وضع مستقر، مدعومة بضغط الذرات التى ترتد إحداها عن الأخرى، ولكنها لا تشع أى طاقة تخرج للفضاء - فيما يشبه كوكب المشترى. وإذا كانت كرة الغاز كبيرة جدا، تكون الحرارة المتولدة عن تقلصها جد هائلة حتى أنها تجعل مركز الجرم بالغ السخونة بحيث أن الإشعاع الذى ينطلق يفجّر الطبقات الخارجية من الغاز بعيدا فى انفجار ضخم واحد. على أنه سيحدث عند نقطة ما فى منتصف مدى الأحجام - عند مدى محدود نوعا فى المنتصف - أن تصبح كرة الغاز ساخنة فى منتصفها بما يكفى لأن تنتزع الإلكترونات عن نوى الذرات لتتفاعل النوى إحداها مع الأخرى، بما يطلق طاقة كافية لأن يسطع النجم، ولكنها ليست طاقة كبيرة بما يفجره بددا. بل إن إدنجتون حتى وهو لايعرف بالضبط كيف تحافظ النجوم على ناتجها من الطاقة، استطاع أن يستخدم القوانين الأساسية لتخبرنا بمقدار الحرارة التى تصل لها كرة الغاز عندما تتقلص بتأثير وزنها وأن يحسب أن النجم لا يستطيع أن يأخذ فى التوهج إلا إذا كانت كتلته تصل إلى حوالى عشر كتلة شمسنا، وأنه لا يمكنه أن يبقى نفسه متماسكا إزاء عصفة الطاقة للخارج إذا كان وزنه يزيد كثيرا عن مائة مثل لكتلة شمسنا.

أحد أهم الجوانب فى تطبيق إدنجتون لقوانين الفيزياء الأساسية على النجوم هو ما تقرره هذه القوانين من أن كل النجوم المستقرة، بصرف النظر عن حجمها، لابد وأن لها تقريبا الحرارة نفسها فى قلوبها. وعندما نجدد حسابات ادنجتون تجديدا هينا، بأن نضع فى الحسبان تنقيحاتها الحديثة، سنجد أن الحرارة عند قلب أحد النجوم لابد وأن تكون حوالى ١٥ ـ ٢٠ مليون درجة كلفن (تبلغ حرارة مركز الشمس حوالى ١٥ مليون ك؛ والنجوم الأكبر يكون داخلها أسخن قليلا) . وإذا وصل النجم إلى حرارة أسخن قليلا عن ذلك، سيتمدد تمددا هينا، مما يخفف الضغط على قلبه ويجعله يبرد؛ وإذا صار أبرد بأى حال، فسينكمش قليلا بتأثير ماله من وزن، مطلقا حرارة حسب عملية كلفن ـ هلمهولتز، ليسخن ثانية. هكذا كان كل شيء منسجما تماما ـ فيما عدا أنه فى منتصف العشرينيات، عندماكان إدنجتون يطرح هذه الأفكار، لم يكن أحد يعرف كيف نجعل العمليات النووية تولد الحرارة فى درجات منخفضة هكذا.

كانت المشكلة هى أنه وإن كان التحام أربع نوى من الهيدروجين معا (أربعة بروتونات) لصنع نواة هيليوم واحدة ينبغى حقا أن يطلق طاقة، إلا أن كل بروتون يحمل شحنة كهربائية موجبة، والشحنات المتماثلة تنفر إحداها من الأخرى. فإذا اقترب بروتونان أحدهما من الآخر، حتى ولو فى اقتراب اصطدام مباشر، فإن هذا التنافر الكهربائى سيمنعهما من أن يلمس أحدهما الآخر بالفعل، إلا إذا كانا يتحركان بسرعة كبيرة جدا حقا.

وسرعة حركتهما تعتمد على درجة الحرارة ـ وهما عند حرارة خمسة عشر مليون درجة لن يتحركا بالسرعة الكافية لأن يحدث اصطدام حقيقي، بما يتيح العمليات النووية التي تجعل النوى (أيا ما كانت) تندمج لتقوم بمهمتها.

تأتّى حل اللغز مع تطور فيزياء الكم في النصف الثاني من عشرينيات القرن العشرين. أحد المعالم الأساسية في فيزياء الكم هي أن الكيانات الموجودة على المستوى تحت الذرى مثل البروتونات والإلكترونات هي مما ينبغي ألا نفكر فيها على أنها جسيمات كالنقطة، بمثل ما كان يعتقد عنها قبل حوالى ١٩٢٦، وإنما ينبغي أن نعتبر أنها بعض توليفة من الموجة والجسيم، لها طبيعة انتشار مشوشة.، بهذه الصورة، فإنه عندما يقترب بروتون من بروتون آخر (أو نواة ذات شحنة موجبة)، فإن حافة موجة البروتون الأول يمكن أن تتداخل مع حافة البروتون الآخر (أو النواة) قبل أن تصبح قلوب حزمات الموجات (كما تسمى) أحدها يعلو الآخر. ويمكن حساب مدى هذا التداخل للموجات عند حوافها بدقة بالغة وذلك باستخدام فيزياء الكم. وهو يكفي في ظروف معينة لأن يتيح التفاعلات النووية التي تشد الكيانين معا وتمزجهما لإيجاد نواة جديدة واحدة، تحدث حتى عند درجات الحرارة كتلك التي في داخل النجوم. والأمر يشبه نوعاما قد يحدث عندما نساعد طفلا على ارتقاء تل ـ فعندما نقف بأعلى التل يمكن للواحد منا أن يمد يده ويمسك بيد الطفل ويشده عاليا إليه. والحالة الموجية للنوى والجسيمات تعطى لهما مدى أطول للتفاعل، بما يرادف عندهما مد الذراع.

تسمى هذه العملية الظاهرة النفقية، وقد استنبطها لأول مرة فى ١٩٢٨ عالم الفيزياء الروسى جورج جاموف، وكان وقتها مهتما بالتفاعلات النووية مثل اضمحلال ألفا، مما يحدث فى المعمل، فوق الأرض. وطبقت الظاهرة سريعا على الظروف الموجودة فى الشمس، حيث ثبت فى النهاية أنها بالضبط قوية بما يكفى لأن تتيح أن يحدث اندماج نووى بالقدر الكافى لأن يوفر ما نرصده من نتاج الطاقة من الشمس، عند درجة حرارة مركزية تتفق وحسابات إدنجتون.

اتخذت روبت أتكنسون وفريتز هوترمانز أول الخطوات لذلك فى ١٩٢٩ . وكانا مازالا يفكران بلغة من إضافة البروتونات إلى نوى كبيرة، وليس عن طريق الاندماج البسيط لنوى الهيدروجين لتصنع الهيليوم، وذلك لأن علماء الفلك وقتها كانوا مازلوا بعد غير مدركين لأن الشمس مصنوعة فى معظمها من الهدروجين. على أنهما أوضحا أنه فى درجات الحرارة المناسبة لقلب الشمس سيكون هناك حقا عدد كاف من البروتونات التى تتحرك سريعابما يكفى لأن تعمل الظاهرة النفقية بعضا من الوقت. وسيحدث فى اصطدامات كثيرة أن البروتون سيتنافر مع الشحنة الموجبة «لهدفه»؛ إلا أن البروتونات الأسرع حركة تتمكن من اختراق الحاجز الكهربائى، وكأنها قد شقت نفقا من خلاله. وكما يبين هذا المثل، فإن فهم الفيزياء الفلكية فهما متناميا كان يتقدم يدا بيد مع الفهم المتنامى لفيزياء الكم وفيزياء الجسميات ـ وسيكون من

المستحيل تفسيرها يجرى داخل الشمس والنجوم من غير فيزياء الكم، ومن غير اختبار هذه الأفكار فى تجارب تستخدم معجلات الجسيمات هنا على الأرض. وحتى نعطى القارىء بعض فكرة عن الصعوبات التى واجهها علماء الفيزياء الفلكية فى أول الأمر، فلنتذكر أن النيوترون لم يكتشف إلا فى ١٩٣٢ ـ وتلعب النيوترونات دورا رئيسيا فى التفاعلات النووية التى تبقى الشمس مضيئة. ولم يحدث إلا فى خمسينيات القرن العشرين أن تمكن علماء الفيزياء الفلكية أخيرا من توصيف هذه العملية بالتفصيل، والسبب فى ذلك كان فى جزء منه لأنهم كانوا يحتاجون لمزيد من المعلومات عن فيزياء الجسيمات، وفى جزء آخر لأنهم قد استغرقوا زمنا جد طويل لإدراك أن الشمس فى أكثر من ٩٥ فى المائة منها مصنوعة من الهيدروجين والهيليوم، وفى جزء ثالث لأنه قد حدث بسبب الحرب العالمية الثانية انقطاع للأبحاث العلمية. إلا أن القصة التى انبثقت وقتها صمدت لكل اختبار طبق بعدها فى نصف القرن الماضى.

وتسمى هذه العملية بسلسلة البروتون - البروتون (أو ب ـ ب)، وتبدأ باصطدام بين بروتونين بحيث تتيح لهما الظاهرة النفقية أن يندمجا معا لصنع نواة ديوتريوم (ديوترون)، تتكون من بروتون ونيوترون ملتحمان معا بقوى نووية. وأثناء هذه العملية فإنهما يلفظان بعيدا جسيم بوزيترون (هو أساسا إلكترون مشحون بشحنة موجبة، يحمل بعيدا الشحنة الموجبة «الفائضة») وكذلك جسيما

يسمى النيوترينو. ثم يتمكن بروتون آخر من شق نفق فى الديوترون، منتجا نواة من هيليوم ـ ٣. وأخيرا، عندما تتفاعل معا نواتان من هيليوم ـ ٣، فإنهما يتمكنان من تشكيل نواة مستقرة من هيليوم ـ ٤، (مصنوعة من بروتونين ونيوترونين متماسكين معا)، ويلفظان أثناء صنع ذلك بروتونين مستغنى عنهما. والنتيجة الخالصة هى أن أربعة بروتونات (أربع نوى للهيدروجين) تتحول إلى نواة هيليوم واحدة، تماما كما طرح إدنجتون.

يفسر الفهم الحديث لعمليات الفيزياء الكمية ما يجرى فى قلب الشمس بدقة رهيفة، ويتضح ذلك من النظر فى هذه التفاعلات بتفاصيل أكثر قليلا. يحدث فى أى غاز، أو أى بلازما مثل المادة التى فى قلب الشمس، أن تتحرك الجسيمات الفردية بسرعات مختلفة، يكون لها مدى يمتد حول بعض سرعة متوسطة. ويزيد متوسط السرعة عندما ترتفع الحرارة، ولكن هناك دائما بعض جسيمات .. تتحرك بأسرع من المتوسط، وبعضها بأبطأ منه. ونحن يمكننا بالنسبة لعدد كبير من الجسيمات التى عند حرارة معينة، أن نحسب حسابا دقيقا تماما للنسبة المئوية للجسيمات التى تتحرك عند أى سرعة معينة أعلى أو أقل من المتوسط. وحتى عند درجة حرارة من ١٥ مليون ك، فى الظروف الموجودة فى قلب الشمس فإن الظاهرة النفقية لن تتيح للبروتونين أن يتفاعلا معا بالطريقة المطلوبة إلا عندما يتحرك أحدهما بسرعة تكون على الأقل خمسة أمثال السرعة المتوسطة. وحتى عندها، لابد وأن

يكون الاصطدام مباشرا تقريبا لتنجح المهمة ـ فحتى عندما يكون البروتون سريعا، فإنه لن يلتحم مع البروتون آخر إذا ضربة فحسب ضربة غير مباشرة.

سنجد داخل الشمس بروتونا واحدا من كل مائة مليون هو فقط الذى يتحرك بالسرعة الكافية لأداء المهمة. وتبين لنا حسابات الفيزياء الكمية. أنه يحدث فى المتوسط أن يستغرق البرتون المفرد ١٤ بليون سنة ليجد شريكا يمكنه الانضمام له لتشكيل ديوترون من خلال اصطدام مباشر.وبعضها سوف يستغرق زمنا أطول من المتوسط، وبعض سيجد شركاء فى زمن أقصر. وعمر الشمس هو فقط ٤,٥ بليون عام، وهذا هو السبب فى أن معظم، بروتوناتها مازال عليه أن يجد شركاء بهذه الطريقة (وعلى أى حال، فإن بروتونات قلب لشمس هى وحدها التى يكون لديها أى أمل فى الإسهام فى سلسلة ب ـ ب، أما فى طبقات الشمس الخارجية الأكثر برودة، فلا يمكن مطلقا أن يحدث اندماج نووى). وعموما، فإن اصطداما واحدا، لاغير من كل عشرة بلايين ترليون (١ من ١٠^٢٢)، سوف يبدأ سلسلة من ب ـ ب. على أنه يوجد فى المشمس بروتونات جد كثيرة، واصطدامات جد كثيرة، بحيث أنه حتى مع هذا المعدل المنخفض بما لايصدق، وحتى بالرغم من أن نسبة ٠,٧ فالمائة فقط من كتلة كل مجموعة من أربعة بروتونات هى التى تنطلق كطاقة كلما تكونت نواة من هيليوم -٤، حتى مع هذا كله، إلا أنه يحدث أن حوال ٥ مليون طن من الكتلة تتحول إلى

طاقة خالصة فى كل ثانية فى قلب الشمس. وبالأرقام المستديرة (إلى أقــرب مــائة مليــون طن)، فــإن ٦٠٠ مليــون طن من الهيدروجين تتحول إلى ٥٩٥ مليون طن من الهيليوم فى كل ثانية فى قلب الشمس، وتتحول الخمسة ملايين طن الأخرى أو ما يقرب إلى طاقة خالصة. وحتى مع هذا المعدل، فإن الشمس حتى الآن قد عالجت هكذا حوالى ٤ فى المائة فقط من رصيدها الأصلى من الهيـدروجين(ومـرة آخـرى فـإن هذا يتـفق بدقـة مع حـسـابات إدنجتون) ليتحول إلى هيليوم، حتى وإن كانت سلسلة ب ـ ب قد ظلت تعمل طوال ٤،٥ بليون سنة.

قد أكدت على هذه التفاصيل حتى أعطى القارىء فكرة واضحة تماما عن كيف أن علماء الفيزياء الفلكية يفهمون بالفعل ما يجرى داخل النجوم.ولايمكن لنا أن نغير هذه الأرقام ولا حتى بنسبة ٥ أو ١٠ فى المائة، ثم نجد بعدها أن كل شيئ مازال يجرى منسجما. والأمور التى يتم اجراؤها فى انسجام تنتشر عبر كل أفق الفيزياء، إبتداء من قانون الغازات وقانون الجاذبية، اللذان يوصّفان كرة كبيرة من الغاز المتوهج، ووصولا إلى قواعد فيزياء الكم، التى توصف الطريقة التى تتفاعل بها الجسيمات تحت الذرية أحدها مع الآخر. وأهمية هذا كله هى بالطبع أن النجوم هى أكبر الأشياء عمرا فى الكون، وأن الكون نفسه هو ولابد بكل تأكيد أكبر عمرا من النجوم التى يحويها. وحتى نضع بعض حد أدنى لعمر الكون، سنحتاج لأن نعرف ، لا فحسب عمر الأرض أو عمر الشمس، وإنما أعمار أكبر النجوم سنا.

وسنحتاج للتأكد من أن تقديراتنا تتأسس على فيزياء جيدة. وآمل أن أكون قد اقنعت القارىء أنها هكذا. والفيزياء نفسها التى توصف ما يجرى داخل الشمس ذاتها هى التى تمكن علماء الفيزياء الفلكية من تقدير أعمار أكبر الأشياء سنا فى الكون. ولكن هذا ليس أمرا سهلا.

أحد المعالم المهمة فى تنامى الفهم الحديث لحياة النجوم ـ أكبر الأشياء سنا فى الكون ـ هو التغذية المرتدة ما بين النظرية والمشاهدات. وكمثل، فإن علماء الفيزياء الفلكية قد أمكنهم أن يستخدموا فى محاكاتهم بالكمبيوتر (التى تسمى عادة بالنماذج)، ما فهموه عن الطريقة الى تحدث بها التفاعلات النووية، وهو فهم استمدوه من تجارب معجلات الجسيمات فوق الأرض.وهم عندما يعايرون حساباتهم هكذا، يستطيعون أن يستنبطوا مقدار السرعة التى يستهلك بها نجم مثل الشمس وقوده، ومقدار الوقت الذى يستغرقه هذا النجم الذى بدأ أصلا بمزيج من الهيدروجين والهيليوم، ومعه فحسب آثار متناثرة من كل شىء آخر، حتى يصل النجم إلى حالة يبدو فيها مثلما تبدو الشمس الآن (هناك أسباب قوية لأن تكون البداية بما يكاد يكون كله هيدروجين وهيليوم، وهذا أمر سنصل إليه سريعاً)، ولكننا نعرف من قبل من أدلة الاضمحلال الأشعاعى التى وصفناها فى الفصل الأول، أن عمر المنظومة الشمسية هو حوالى ٤,٥ بليون سنة. وبالتالى فإن هذا قيد آخر على نماذج الفيزياء الفلكية ـ فينبغى أن تخبرنا هذه النماذج أن

النسخة النموذج للشمس سيكون لها عمر حاسوبى من ٤,٥ بليون سنة عندما تبدو بالطريقة التى تبدو بها الشمس الآن. وتعدل النماذج عند الضرورة للتأكد من أن يكون العمر هكذا ـ وربما يكون ذلك بتعديل النسب الأصلية الدقيقة للهيدروجين والهيليوم، أو التوليفة الأصلية من آثار العناصر الأخرى الموجودة فى النموذج. وهذا ليس غشا ـ وإنما هو طريقة للضبط الدقيق للحسابات للتأكد من أن النماذج تضاهى الواقع.

ما إن نفعل ذلك، فإنه يعنى أنه يمكن السير بالنماذج لما هو أبعد فى المستقبل، لنرى ماذا سيحدث للشمس عندما تظل تزداد عمرا ـ كما يمكن تطبيق النماذج على نجوم لها كتل مختلفة، لنحسب طريقة تغير مظهرها بمرور الزمن. ومرة أخرى، يجب التحقق من صحة تنبؤات النماذج، كلما أمكن، وذلك بمقارنة هذه التنبؤات مع ما يرصد من مظهر لنجوم معروف أن لها كتلة تختلف عن كتلة الشمس. ولنأخذ أكثر مثل جوهرى لهذا النوع من التغذية المرتدة وهى تعمل مفعولها، حيث نجد أن حسابات إدنجتون الأصلية عن فيزياء الأجرام الكروية المكونة من غاز له جاذبية ذاتية، تقرر لنا أن أى نجم تكون كتلته أكثر من مائتى مثل لكتلة الشمس لايمكن أن يكون مستقرا. ومن المؤكد تماما أننا لانرى فى السماء أى نجم كتلته أكثر من مائتى مثل لكتلة الشمس، والنجوم القليلة التى نراها ولهاكتل قريبة من هذا الحد، نرى أيضا أنها نشطة نشاطا عنيفا، فتقذف خارجا للفضاء سحبا ضخمة من المادة. ويعطينا هذا الثقة

فى قوانين الفيزياء التى استخدمها إدنجتون لتوصيف كرات من غاز له جاذبية ذاتية، وفى الطريقة التى طبق بها هذه القوانين. ولكن العملية لم تقف عند إدنجتون. فقد ظل هناك دائما تفاعل بين ثلاث طرائق طيلة عقود من السنين، وذلك كلما وفرت لنا التليسكوبات الأفضل أرصادا أحسن للنجوم، وكلما اخبرتنا معجلات الجسميات الأفضل بالمزيد عن طريقة تفاعل النوى، وكلما مكنت الكمبيوترات الأقوى العلماء النظريين من وضع تفاصيل أكثر وأكثر فى نماذجهم.

ليس لدى هنا الحيز الكافى للدخول فى تفاصيل الطريقة التى كشف بها علماء الفيزياء الفلكية عن أسرار تطور النجوم، وهذه فى حد ذاتها ملحمة (بل إن قياس كتل النجوم الأخرى غير الشمس لم يكن حتى بالمهمة السهلة، وإنما يتطلب قياسات مرهقة للطريقة التى يدور بها نجمان فى المنظومات الثنائية أحدهما حول الآخر). إلا أن هناك معلما أساسيا واحدا فى القصة التى انبثقت عند نهاية ستينيات القرن العشرين (ونقحت ، وإن لم تعدل تعديلا شديداً بما تلى ذلك من أرصاد ومن إتاحة كمبيوترات أسرع تصنع بها النماذج) ويخبرنا هذا المعلم الأساسى مباشرة بأنه لايمكن أن تكون الشمس أكبر النجوم سنا فى الكون. فالمنظومة الشمسية تحوى عناصر ثقيلة، لايمكن بأى احتمال صنعها فى نجم كالشمس، ولابد وأنها صنعت فى نجوم كانت موجودة قبل ولادة الشمس. فقد صنعت الشمس والمنظومة الشمسية من حطام نجوم تسبقها على الأقل

بجيل واحد، وهى نجوم قضت دورة حياة سريعة نسبيا ثم انفجرت لتبعثر خارجا فى الفضاء المواد الخام التى صنعنا منها نحن.

وهذه النجوم الأولى هى تلك التى صنعت فحسب من الهدروجين والهيليوم، والتى نعرف الآن أنها نتجت عن طاقة خالصة فى الانفجار الكبير. وبالطبع كانت قصة علم الكونيات تتنامى جنبا لجنب مع قصة تطور النجوم طيلة نصف قرن يمتد من منتصف العشرينيات وماتلاها، وهى تشكل المبحث الرئيسى لباقى هذا الكتاب. إلا أنه يلزم علينا الآن أن نقدم واحداً من أهم الاكتشافات الكونية. هناك عنصر رئيسى من عناصر التغذية المرتدة من نظرية الانفجار الكبير إلى علماء الفيزياء الفلكية، وهذا العنصر هو تنبؤ يتأسس على توليفة من حسابات النماذج ومن فهم فيزياء الجسيمات والكم كما نمته التجارب هنا على الأرض، وحسب هذا التنبؤ فإن مزيج المادة الذرية التى انبثقت عن الانفجار الكبير يتكون من الهيدروجين بنسبة ٧٥ فى المائة والهيليوم بنسبة ٢٥ فى المائة. ومن المؤكد تماما أن أكبرالنجوم سنا التى يمكن لنا رؤيتها (أى النجوم الصغيرة التى تحرق وقودها بطيئا وظلت موجودة منذ بدء الزمان تقريبا) فيها حقا فى جوها مزيج من هيدروجين بنسبة ٧٥ فى المائة وهيليوم بنسبة ٢٥ فى المائة، كما تحدد بالدراسات الطيفية. ويفترض أن هذه النجوم لديها هيليوم أكثر نسبيا فى قلوبها، حيث ظلت نوى الهيدروجين تندمج لتصنع هيليوم طيلة

بلايين من السنين؛ على أن من المعتقد أن أجواءها تحوى الأصلية للكون. وبهذا فإن لدينا فكرة جيدة عما صنعت منه النجوم الأولى. ولدينا أيضا فكرة جيدة عن طريقة صنعها للعناصر الثقيلة. إذا تركنا التفاصيل جانبا، سنتمكن من حكاية قصة تطور نجم كالشمس بصورة بسيطة تماما. كلما كان النجم أكبر (أى أكثر كتلة)، يكون من اللازم له أن يحرق وقوده بسرعة أكبر، لأنه يلزم له أن يولد ضغطا أكثر ليبقى نفسه متماسكا إزاء وزنه هو. والشمس نفسها لديها فى قلبها الهيدروجين الكافى لأن تحافظ على نفسها فى وضعها الحال تقريبا وذلك لفترة إجمالية من حوالى عشرة بلايين عام، وبالتالى فإنها الآن بشكلها الحالى فى منتصف عمرها تقريبا. وهكذا فإن النجم الأقل كتلة سوف يستمر فى حرق الهيدروجين حرقا مطردا لزمن أطول، حتى مع أنه بدأ بكمية أقل من الهيدروجين، وذلك لأنه لايحتاج لأن يحترق عنيفا هكذا، أما النجم الأكبر كتلة فيكون له زمن حياة أقصر (وربما أقصر كثيرا)، حتى مع أنه بدأ بكمية وقود أكثر، لأن من اللازم له أن يحرق وقوده بعنف أكثر. وكما هو متوقع فإن هذا تتم ترجمته فى نصوع النجم. فالنجوم الأكبر كتلة أكثر نصوعا، والنجوم الأصغر كتلة أكثر إعتاما.

درجة نصوع النجم تتعلق أيضا بلونه، بالطريقة نفسها التى تكون بها قطعة حديد مبيضة بالحرارة أكثر سخونة من قطعة حديد محمرة بالحرارة. وبالتالى فإن الرسم البيانى (نوع من شكل تخطيطى)، الذى يرسم فيه نصوع كل نجم (نصوعه المطلق بعد

أن يدخل فى الحساب مسافة بعده) إزاء لونه، ستقع فيه كل النجوم التى تحرق هيدروجين بطول شريط واحد فى الشكل يسمى التتابع الرئيسى، ويجرى الشريط تقريبا بامتداد قطرى من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين. ويسمى الشكل البيانى نفسه بشكل هرتز برونج ـ راسل، أو شكل هـ ـ ر، وذلك على اسم عالمى الفلك الذى توصل كل منهما مستقلا إلى هذه الطريقة لتمثيل خواص النجوم.

يعتمد الموقع الذى يوجد فيه أحد النجوم فى التتابع الرئيسى على ماله من الكتلة ـ الحجم، وتكون النجوم الكبيرة الساخنة فى أعلى يسار الشكل، والنجوم الصغيرة الباردة فى أسفل اليمين.

وإذا كانت كتلة النجم ثلاثة أمثال كتلة الشمس فإنه سيظل باقيا فى التتابع الرئيسى لمدة ٥٠٠ ميلون سنة فقط، والنجم الذى له كتلة تبلغ عشرين مثل لكتلة الشمس سيبقى فى التتابع الرئيسى لمدة مليون واحد فحسب من السنين. أما إذا كان للنجم نصف كتلة الشمس فسيظل باقيا فى التتابع الرئيسى لمدة أطول من الشمس بعشرين مثل.

على أنه أينما كان موقع النجم فى التتابع الرئيسى، فسوف يحدث فى النهاية أن يتحول كل مافى قلبه من هيدروجين إلى هيليوم. ولاينطلق بعد المزيد من الطاقة النووية، وبالتالى لن يكون هناك شىء يوقف انكماش النجم تجاه الداخل. ولكن ما يحدث هو

أنه يتم انطلاق طاقة جذبوية، بما يتفق وحساب كلفن ـ هلمهولتز. وإذا كان للنجم كتلة كافية (مثل الشمس نفسها)، سنجد أن قلب النجم يصبح حتى أكثر سخونة، إلى حد يبدأ معه تشغيل مجموعة جديدة من التفاعلات النووية، تحول نوى الهيليوم إلى نوى كربون. ويحدث ذلك عند درجة حرارة أعلى قليلا عن احتراق الهيدروجين،وتؤدى الحرارة الإضافية التى تنطلق أثناء هذا الطور من حياة النجم إلى انتفاخ طبقاته الخارجية، فيصبح ما يعرف بالعملاق الأحمر (تنتمى العمالقة الحمراء إلى أعلى يمين شكل هـ ـ ر، فوق التتابع الرئيسى)، ولكن هذا طور قصير الأجل فى تطور النجوم، ويبقى عادة لزمن يبلغ فقط ٥ أو ١٠ فى المائة من الزمن الذى يقضيه النجم نفسه فى التتابع الرئيسى.وعندما ينفد وقود الهيليوم من نجم كالشمس، فإنه ببساطة يستقر فى حالة مزيد من الانضغاط (وهو يسخن إذ يفعل ذلك، ولكنه لايسخن بما يكفى لقدح زناد المزيد من التفاعلات النووية)، ثم يبرد بعدها ببطء، ليصبح كرة مضغوطة من المادة فى حوالى حجم الأرض، إلا أنه يحوى مادة لاتقل إلا قليلا فحسب عما يوجد فى الشمس الآن. وهو بهذا يصبح قزما أبيض ـ يكون فى حالة الشمس كرة من كربون يبرد (بما يكاد أن يكون حرفيا رماد فرن). تنتمى الأقزام البيضاء إلى أسفل اليسار من شكل هـ ـ ر البيانى، تحت التتابع الرئيسى.

أما النجوم الأثقل قليلا من الشمس، فتستطيع أن تولد قدرا من الحرارة، فى الأطوار المتتابعة من تقلصها الجذبوى، بما يكفى لأن تمرخلال أطوار أخرى من الاحتراق النووى، حيث يصنع من

الكربون والهيليوم عناصر مثل الأوكسجين والنيون. وإذا كان للنجم كتلة تزيد عن حوالى ثمانية أمثال كتلة شمسنا، فإنه عند نهاية حياته كعملاق أحمر يتقلص تقلصا جد عنيف، وتنطلق طاقة جذبوية جد كبيرة، بحيث يحدث أمران. الأول، أن طاقته الجذبوية تؤدى إلى سلسلة من التفاعلات النووية، يتكون منها أثقل العناصر ـ مثل اليورانيوم والذهب والرصاص. والثانى أن النجم يتفجر، مبعثرا للخارج فى الفضاء هذه العناصر وتلك التى صنعت قبلها أثناء زمن حياة النجم، وتختلط هذه العناصر مع سحب غاز الهيدروجين والهيليوم وتكون الخامة التى تصنع منها الأجيال اللاحقة من النجوم (والكواكب والبشر). ويصبح النجم سوبرنوفا، ويسطع زمنا وجيزا بنصوع يضاهى مائة بليون مثل لكل نجوم التتابع الرئيسى لو وضعت معا.

ومن المهم أن ندرك أن هذه المراحل من تطور النجـوم ـ أى التتابع الرئيسى، والعملاق الأحمر، والقزم الأبيض والسوبرنوفا ـ كلها مراحل قد درست بالرصد، وقورنت الأرصاد بنماذج الكمبيوتر وبما تعلمناه من تجارب فيزياء الجسيمات. إن الفهم الحديث لتطور أحد النجوم جدير تماما بأن نعتمد عليه، من حيث مستوى علاقته بقصتنا الحالية، وإن كان مازال هناك بالطبع تفاصيل يلزم استنباطها وبعض تضبيط دقيق يلزم إجراؤه على النماذج. على أن ما يهم فى نقاشنا الحالى هو أننا نعرف أن نظائر العناصر المشعة التى لها حياة طويلة مثل اليورانيوم، قد صنعت

فى انفجارات سوبرفونا قبل أن تتشكل المنظومة الشمسية، وبالتالى فإن هذه النظائر المشعة قد وجدت على الأرض وفى أماكن أخرى من المنظومة الشمسية منذ بدء حياة الشمس. وهذا يعطى حدا آخر لعمر الكون.

وحتى نضع الأمر فى سياقه، فإن الشمس والمنظومة الشمسية جزء من منظومة نجوم فى شكل قرص تسمى مجرة درب التبانة . وهذه تحوى مائتى بليون نجم، كل واحد منها يشبه الشمس تقريبا، ويضاف إلى ذلك سحب غاز وغبار تصنع منها النجوم. ونحن قد استبنطنا من قبل عمر الشمس والمنظومة الشمسية، أما الآن فنحن نود معرفة عمر المجرة.

أحد الأمور العظيمة فيما يتعلق بتكنيك التأريخ بالنشاط الإشعاعى، أن ما يوجد الآن من نسب لنظائر معينة يمكن أن يخبرنا بنسب العناصر المشعة التى كانت موجودة عند مولد الشمس (حيث أننا نعرف الآن عمر المنظومة الشمسية)، حتى وإن كانت هذه العناصر المشعة أصلا قد اضمحلت كلها ـ وسبب ذلك بالطبع هو أن بعض النظائر التى نجدها الآن فوق الأرض وفى عينات حطام النيازك، لايمكن أن يتم صنعها إلا كنتيجة اضمحلال اشعاعى لعناصر معينة كانت موجودة فى وقت أسبق. وبالإضافة، فإن بعض النظائر المشعة (مثل نظائر اليورانيوم)، لها زمن حياة بالغ الطول بحيث أن بعضا من المادة المشعة الأصلية لايزال

موجودا الآن على الأرض، إلى جانب المادة التى نتجت عن الاضمحلال الإشعاعى لنوى أخرى لنفس النظائر الأصلية. وليست هذه بعد نهاية القصة تماما، لأننا سنحتاج أيضا لأن نعرف متى صنعت المواد المشعة التى دخلت فى مزيج المادة التى تشكلت منها المنظومة الشمسية عند تكوينها. على أن هناك تخمينين معقولين يمكن استخدامها لإعطاء فكرة تقريبية عما كانه عمر المادة التى صنعت النجوم فى منطقتنا من المجرة عندما تشكلت المجموعة الشمسية.

وأول تخمين هو أن كل المواد المشعة قد تشكلت فى دفعة واحدة فى الوقت الذى تشكلت فيه مجرة درب التبانة نفسها. ومن الواضح أن هذا خطأ، لأننا ما زلنا نرى انفجارات سوبرنوفا تحدث الآن. ولكنه فرض خطأ بطريقة مفيدة ومحددة بدقة بالغة. فافتراض هذا الفرض يعطينا أقل عمر ممكن للمجرة ككل، وهو عمر يبلغ حوالى ثمانية بليون عام. ونحن نعرف أن هذا الرقم أقل كثيرا مما ينبغى، ولكنه مهم لأى فهم لعمر الكون، لأنه على نحو مطلق أقل حد معين له - «فلابد» - من أن تكون المجرة أكبر عمرا من هذا. ويمكننا مباشرة أن ندرك أن عمر الكون هو على الأقل ضعف عمر الشمس.

وأبسط تخمين بديل يمكن أن نخمنه عن معدل صنع العناصر المشعة داخل النجوم وانتشارها خلال مجرة درب التبانة أثناء زمن

حياتها هو أن هذا المعدل ثابت، مع انفجار العدد نفسه من السوبرنوفات فى كل ألف عام منذ تشكلت مجرة درب التبانة. ومن المحتمل (وإن لم يكن من المؤكد) أن هذا التخمين خطأ يقع على الجانب الآخرمن المسألة ـ وكما يبدو فإن من الممكن أنه كان هناك عدد أكبر من السوبرنوفات عندما كانت المجرة صغيرة السن. على أننا لو أخذنا هذا على أنه إشارة إلى ما يرجح أن يكون أعلى حد لعمر المجرة، ثم أدخلنا ذلك الفرض فى حسابات أعمار النشاط الأشعاعى المتعلقة بالأمر، فسوف نحصل على عمر أقل بالكاد من ثلاثة عشر بليون سنة، مع قدر كبيرنوعا من عدم اليقين يصل إلى زائد أو ناقص ثلاثة بلايين عام ـ وبكلمات أخرى، فإن أفضل ما يمكن أن يخبرنا به تكنيك التأريخ بالاشعاع هو أن عمر المجرة يتروح بين عشرة وستة عشر بليون عام. وتنشأ أوجه عدم اليقين عن شيئين معا، وهما القيود التى يقر بها بالنسبة للجانب النظرى من التكنيك، وكذلك صعوبة أن نقيس بدقة عدد الذرات المتعلقة بالأمر؛ وهذه الأنواع من عدم اليقين سوف تؤثر فى أى عمر للكون مما سنناقشه فى باقى هذا الكتاب. ويذكر الأمناء من العلماء دائما نتائج حساباتهم ومعها تقدير لعدم اليقين على هذا النحو، ونحن سوف نناقش فحسب أبحاث العلماء الأمناء.

هناك رقم آخر لاغير جدير بالذكر، قبل أن نودع تكنيك التأريخ بالإشعاع. هناك بعض دراسات طيفية فائقة المهارة والدقة أجريت على نجم واحد هو سى إس ٢٢٨٩٢ ـ ٠٥٢ ((CS 22892-052)

سجلت فى ١٩٩٦، ووفرت قياسا لنسب عنصرى الثوريوم واليورانيوم فى جو ذلك النجم. وهذا يعطينا عمرا إشعاعيا للنجم نفسه، والرقم الذى نخرج به من هذا الحساب هو ١٥,٢ بليون سنة، مع عدم يقين من حوالى زائد أو ناقص أربعة بلايين عام. ولاشك أن مدى الأعمار المتاحة بهذه الدرجة من عدم اليقين مدى كبير - فهو أى رقم من ١١ إلى ١٩ بليون سنة. ولكن الرقم يتفق تماما مع المدى الذى نحصل عليه من قياسات النظائر المشعة فى المنظومة الشمسية، بما يوفر دليلا حاسما على نجاح التكنيك. وهذه أنباء طيبة (ولاريب أنه لوكان الرقمان مختلفان اختلافا بالغا بحيث أنهما لايتداخلان حتى لو أدخل فى الحساب الأخطاء الممكنة، لكان فى ذلك أنباء سيئة جداً، تلقى ظلالا من الشك على كل تكنيك التأريخ بالإشعاع).

هذا أقصى مايمكن التوصل إليه باستخدام التأريخ بالاشعاع. ولكن هذا لاينهى بحثنا عن حد العمر للمجرة. فما زال لدينا فى جعبتنا تكنيكان آخران، ولحسن الحظ أنهما أيضا يعطيان لنا أرقاما فى المنطقة نفسها من الأعمار التى يعطيها لنا النشاط الإشعاعى.

يعطينا التكنيك الأول تقديرا مستقلا لعمر قرص المادة التى تشكل معظم مجرة درب النبانة المرئية، حيث تدور المنظومة الشمسية نفسها حول مركز المجرة. وهو يعيد لنا الأقزام البيضاء ثانية إلى القصة. فحيث أن الأقزام البيضاء ليس لديها مصدر

داخلى للطاقــة، وحـيـث أنهـا كـتل جـامـدة من المادة، وأنهـا لاتنكمش (وبالتالى لايمكنها أن تعتمد على أى طاقة جذبوية كامنة لإبقائها دافئة)، فإن كل ما تفعله هو أنها تقبع هادئة فى الفضاء، وتظل فى الحـجم نفسـه تقـريبـا، وهى تبـرد بمرور الزمـن. ويمكن حساب المعدل الذى تبرد به بنفس الطريقة تقريبا التى حسب بها بوفون المعدل الذى تبـرد به كرة حـديد فى حـجم الأرض سـاخنة حـتى الاحـمـرار، وإن كـانت الفـيـزيـاء المسـتـخـدمـة الآن فى ذلك مفهومة فهما أكمل مما كان فى زمن بوفون. وأول تقريب، هو أن المعدل الذى تشع به الطاقة من جرم ساخن هكذا يتناسب مع الأس الرابع لحرارتـه، ومع أن هناك عوامل لها عـلاقة بالبنية الداخلية للنجم تغير من هذا تغييرا قليلا، إلا أن نظرية الطريقـة التى يبرد بها القزم الأبيض مفهومة تماما بلغة من الفيزياء الأساسية.

قد يظن القارىء أن الموقف سيتعقد بوجود أنواع كثيرة مختلفة من القـزم الأبيض، تخـتلف كتلتهـا من الواحد للآخر، بما يسبب انشغالا. إلا أن هناك أسبابا فيزيائية صـحيحـة تبين أنه مـا من قزم أبيض يمكن أن تزيد كتلته عن حوالى ١,٢ مثل لكتلة الشمس الآن ـ فلو كان له كتلة أكبر من ذلك فإن وزنه هو سيتغلب على قوى الضغط التى تجعله متماسكا إزاء شد الجاذبية، فيزداد تقلصا، إما ليشكل نجم نيـوترون (كـرة من النيـوترونات لهـا نفس كـثافـة نواة الذرة وتحوى كـتلة أكثر من شـمسنا، ولكنهـا تشغل حيـزا عـرضـه حوالى ١٠ كليومـترات) أو ليشكل ثقبا أسود. ونـحن بكل تأكـيد

لانرى أى نجوم من الأقزام البيضاء لها كتلة أكبر من ١,٢ مثل لكتلة الشمس. والحقيقة أن معظم الأقزام البيضاء لها كتلة هى فقط حوال نصف ذلك.

إذا كان النجم قد بدأ حياته بكتلة صغيرة هكذا، فإنه سيقبع فى التتابع الرئيسى ويحرق الهيدروجين إلى هيليوم طيلة عشرات كثيرة من بلايين السنين؛ إلا أنه لاتوجد أدلة على أن الأقزام البيضاء التى نراها الآن كان لها دائما نفس الكتلة التى لها الآن (وكمثل فإن أطيافها تكشف عن وجود عناصر أثقل من الهيليوم، وهذه لايمكن أن تكون قد صنعت إلا داخل نجم عملاق) . وتتنبؤنا نماذج الفيزياء الفلكية أن النجوم التى تصل كتلتها حوالى ثمانية أمثال كتلة الشمس تلفظ المادة أثناء المراحل المتأخرة من حياتها، عندما تكون نجوم عملاقة، وتنتهى إلى أن يصبح لها كتلة أقل من الكتلة الحرجة اللازمة لصنع قزم أبيض مستقر. مرة أخرى يتم إثبات النظرية بالأرصاد التى تبين بالضبط وجود نجوم ضخمة هكذا تنفث سحبا هائلة من المادة بعيدا فى الفضاء. فالأقزام البيضاء التى نراها الآن هى قلوب العمالقة الحمراء الضخمة التى فقدت بالكامل طبقاتها الخارجية. بل أن النجوم التى تكون كتلتها أكثر من ثمانية أمثال كتلة الشمس لاتستطيع أن تلفظ المادة بكمية تكفى لأن ينتهى حالها إلى قزم أبيض، ولكن هذه قصة أخرى. ومايهمنا هنا أن النجوم الموجودة عند الطرف الأعلى من المدى والتى تستطيع أن تصنع أقزاما بيضاء يكون فيها كتلة تقارب

ثمانية أمثال كتلة الشمس، وزمن حياة هذه النجوم في مرحلة التتابع الرئيسى ينقضى على نحو سريع جدا، على مدى يبلغ فقط ملايين معدودة من السنين. وبالتالى فإن أول أقزام بيضاء تشكلت عندما كانت مجرة درب التبانة صغيرة السن جداً. بل والأفضل من ذلك، أنها بسبب تشكلها كلها كقلوب للعمالقة الحمراء، فإنها قد تشكلت عند نفس درجة الحرارة ـ درجة حرارة نعرفها بدقة من المقارنة بين النماذج، والأرصاد، وتجارب الجسيمات. وحيث أن الأقزام البيضاء لها كلها تقريبا الكتلة نفسها، فإنها كلها تبرد بالمعدل نفسه تقريبا. وإذا أمكننا الآن العثور عليها وقياس درجة حرارتها، سيكون لدينا حد أدنى آخر لعمرمجرة درب التبانة.

والصعوبة هنا، هى أنه حسب التعريف تكون أكبر الأقزام البيضاء عمرا هى أشحبها، لأنها قد بردت أكثر من غيرها. وبالتالى فإنها ستكون الأصعب فى العثور عليها، لأنها ستكون معتمة. ولايمكن لنا قط أن نثق مطلقة فى أننا قد عثرنا على أبهت أقزام بيضاء، موجودة هناك، وهذا هو أحد الأسباب فى أن هذا الحد من العمر هو فقط أدنى حد لعمر المجرة (والأمر الآخر هو أنه لابد وأن أسلاف هذه النجوم قد استغرقت بعض الوقت حتى تتطور الى حالة القزم الأبيض، حتى ولو كان هذا الوقت ملايين معدودة فحسب من السنين). الأعمار الفعلية التى بردت بها أبهت نجوم الأقزام البيضاء التى اكتشفت حتى الآن تبلغ حوالى ٩,٥ بليون سنة، وعندما نضيف لذلك ما ندخله فى الحساب على نحو معقول

من الزمن الذى استغرقته هذه النجوم أول كل شيء حتى تتشكل، فإن هذا يضع حدا أدنى لعمرقرص درب التبانة يبلغ حوالى عشرة بلايين سنة. وهذا يضاهى بالضبط تماما تقديرات العمرالعام للمادة التى فى قرص المجرة كما استنبطت من تكنيك القياس الإشعاعى.

ويجلب هذا احساسا خاصا بالرضا لأنه يستخدم تكنيكا مختلفا بالكامل.لقد كان من الأخبار الطيبة أن عمر المادة فى المنظومة الشمسية بالقياس الإشعاعى يماثل (داخل حدود الخطأ) العمر الإشعاعى للنجم سى إس ٢٢٨٩٢ ـ ٠٥٢، لأن التكنيك نفسه عندما طبق على جرمين مختلفين فى مكانين مختلفين أعطى نفس الإجابة، وهو مايطرح أنه تكنيك ناجح. أما الآن فقد طبقنا تكنيكا من نوع مختلف تماما لجرم من نوع مختلف تماما، فحصلنا أيضا على إجابة تتسق مع عمر القياس الإشعاعى لقرص المجرة. ونحن لانحتاج لأن نعرف أى شيء عن النشاط الإشعاعى لنقيس تلك الأعمار حسب التبريد، ولانحتاج لأن نعرف أى شيء عن التبريد لنقيس الأعمار حسب النشاط الاشعاعى. ما سجل إذن من الأعمار بالقياس الإشعاعى يبلغ ما يزيد عن عشرة بلايين عام وإن كان أقل من خمسة عشر بليون عام، ولو كنا وجدنا أن أعمار أقدم الأقزام البيضاء هى بليون سنة فقط، أو أنها أعمار كبيرة تصل إلى مائة بليون سنة، لكان فى ذلك ما يثير فينا قلقا عميقا، على أننا عندما نحصل من حساباتنا على عمر من عشرة بلايين عام، فإن

هذه الحقيقة تطرح أننا نفعل الشيء الصواب، بالنسبة لكلا التكنيكين. ومازالت هناك طريقة ثالثة لتقدير عمر المجرة.

عندما نتذكر رسم هـ - ر البياني سنجد فيه أن النجوم كبيرة الكتلة تقع عند أعلى يسار الشريط الممثل للتتابع الرئيسي، إلا أن النجوم الأكثر كتلة هي أيضا نجوم يكون زمن حياتها في التتابع الرئيسي زمنا أقصر. وعندما يكون لدينا مجموعة نجوم كلها لها العمر نفسه، ونظل نراقبها لعشرة ملايين سنة، ونرسم من آن لآخر موقعها في رسم هـ - ر البياني، سنجد أنه مع أننا قد بدأنا شريط تتابع رئيسي عريض رائع يمتد بعظمة عبر الشكل البياني، إلا أنه بعد ملايين قليلة من السنين ستأخذ النجوم التي عند أعلى اليسار في الاختفاء، لأنها قد استنفدت وقودها من الهيدروجين وتركت التتابع الرئيسي - ولكنها لا تختفي بالكامل، وستظهر هذه النجوم الآن في مكان أبعد إلى يمين الشكل كعمالقة حمراء. ويحدث عند أي وقت بعينه، أن نجد أن النقطة التي ينتهي عندها الآن التتابع الرئيسي، قد انحنت إلى اليمين لتتصل بمنطقة الرسم البياني المعروفة باسم فرع العمالقة الحمراء، هذه النقطة تعتمد فحسب على كتل النجوم عند هذا الانحناء في التتابع؛ وسوف تخبرنا كتل النجوم عند هذه النقطة عما يكونه عمرها، لأن الشيء الوحيد الذي يحدد زمن بقاء النجم في التتابع الرئيسي هو كتلته. ونحن نعرف من المقارنة بين نماذج وأرصاد نجوم كثيرة، ما هي الكتلة التي تناظر موقعا بعينه في التتابع الرئيسي، ولذلك سيكون كل ما يلزم

أن نفعله هو أن نقيس موقع الانحناء فى التتابع الرئيسى لنعرف عمر النجوم «بشرط» أن نكون على معرفة بأنها كلها كان لها العمر نفسه.

إذا تطلعت إلى مجرة درب التبانة ككل، ستكون هذه طريقة غير مجدية لقياس الأعمار، لأن النجوم التى نراها قد ولدت كلها فى أوقات مختلفة. على أن هناك أماكن خارج مستوى قرص درب التبانة حيث قد تشكلت معا أعداد كبيرة من النجوم ـ تصل إلى ملايين النجوم فى بعض الحالات ـ كلها تشكلت معا من سحابة واحدة من غاز متقلص. وهى تسمى مجموعات عنقودية كروية، لأنها تشكل تجمعات كروية من النجوم، قد حشدت متقاربة معا. وقد يكون هناك فى المناطق الأكثر كثافة من هذه العنقودية الكروية، عدد من النجوم يصل إلى ألف نجم فى كل فرسخ مكعب واحد من الفضاء (الفرسخ يزيد بالكاد عن ٣,٢٥ سنة ضوئية)؛ وللمقارنة، فإنه لا يوجد أى نجم آخر على مدى فرسخ من الشمس. ونجد فى المتوسط أن مسافة البعد بين النجوم فى مجموعة عنقودية كروية تبلغ تقريبا عشر المسافة بين نجوم منطقتنا من درب التبانة. ولاريب أن كل النجوم فى المجموعة العنقودية الكروية الواحدة قد تشكلت حقا فى الوقت نفسه (أو خلال ملايين معدودة من السنين من تشكل الآخر) وذلك من سحابة غاز واحدة. ونحن نعرف إجمالا حوالى ١٥٠ من هذه المنظومات النجمية، وهى تنتشر فى هالة كروية حول قرص درب التبانة؛ على أن

معظمها لايبعد عن مركز درب التبانة بأكثر من بعدنا عنها (بمسافة من حوالى ٩ كيلو فرسخ، أو ٣٠٠٠٠ سنة ضوئية). تبين الدراسات الطيفية للنجوم فى هذه العنقوديات الكروية أن أجواءها تكاد تتكون بالكامل من الهيدروجين والهيليوم، أى المادة الخام التى انبثقت عن الانفجار الكبير، ومن الواضح أنها تشكلت فى أول طور من تقلص سحابة ضخمة من المادة الخام التى استقرت فى النهاية لتشكل درب التبانة نفسها. وبالتالى، فإننا نتوقع أن تكون العنقوديات الكروية أكبر عمرا عن قرص درب التبانة (الذى يحتوى على المنظومة الشمسية)، وهى فيما يحتمل أقدم الأشياء التى يمكننا من حيث المبدأ قياس عمرها مباشرة.

إذا كانت كل النجوم فى إحدى العنقوديات الكروية قد تشكلت فى الوقت نفسه، فسوف نجد إذن عبر دهور الزمان أن النجوم الأكبر كتلة تستنفد متتابعة وقودها من الهيدروجين لتشكل عمالقة حمراء (ثم أقزام بيضاء أو نجوم نيوترونية أو ثقوب سوداء). وسيزحف الأنحناء فى رسم هـ ـ البيانى زحفا مطردا نازلا على التتابع الرئيسى مع مرور الوقت. إذا كان لدينا قاعة استماع كبيرة مليئة بأناس بأطوال مختلفة، من بالغين وأطفال من كل الأعمار، وعهد إلى أحدهم بمهمة رسم شكل بيانى لعدد الناس من كل طول مختلف، ليرسمه كل نصف ساعة على سبورة، سيكون فى الإمكان أن نرسم رسما مماثلا يعتمد على الوقت. وعند كل نصف ساعة فإن القائم بمهمة الرسم سيخرج من القاعة كل الأفراد الذين

تزيد قامتهم عن طول معين. ويمسح تمثيلهم فى الرسم. وهكذا فإنه عند كل نصف ساعة سينخفض حد الطول حسب قدر قد حدد مسبقا - قد يكون سنتيمترين. وبمرور الوقت سوف ينكمش الرسم البيانى، وسيكون فى استطاعة أى فرد يعرف القاعدة أن ينظر لداخل الغرفة ويتفحص الرسم فى أى وقت، ليعرف من النقطة التى توقف عندها الخط طول المدة التى ظلت التجربة تجرى فيها (على الأقل لأقرب نصف ساعة).

ويمكن من حيث المبدأ تطبيق نفس النوع من الاستدلال على رسوم هـ - ر البيانية للعنقوديات الكروية. ولكن علينا أن نتذكر أن رسم هـ - ر البيانى قد تأسس على قياس نصوع النجوم التى يتناولها الرسم. ويعتمد النصوع الظاهرى (أى المرتبة الظاهرة) لأحد النجوم فى عنقودية كروية على مسافة بعده عنا، ولو استخدمنا فقط النصوع الظاهرى للنجوم فى صنع رسم هـ - ر البيانى سنحصل بهذا التكنيك على تقدير خطأ لعمر المجموعة العنقودية. وعلينا أن نعرف مسافة بعد العنقودية باستخدام بعض تكنيك مستقل، بحيث يمكننا قياس مدى ما سيكونه نصوع النجوم إذا كنا ننظر إليها وهى على مسافة واحدة (يجعل هذا التصحيح ليتفق دائما مع الرؤية من مسافة ١٠ فراسخ، وناتج النصوع المصحح يسمى المرتبة المطلقة). ولكن كيف نقيس المسافات إلى العنقوديات الكروية؟

يمس هذا السؤال المبحث المحورى لباقى هذا الكتاب، وهو قياس المسافات عبر الكون حتى نستنبط عمر الكون. سنصف فى الفصل التالى كيف نشأ أول مقياس مسافات كونى وصفا كاملا؛ والاكتشاف الذى يهمنا هنا هو أن هناك طائفة من النجوم تعرف باسم نجوم آر آر لايرى (القيثارة) RR Lyrae، يحدث فى كل منها تغير منتظم، فتسطع ثم تعتم بأسلوب مميز عبر دورة من ساعات معدودة. وهناك آلاف عديدة من نجوم آر آر لايرى نراها فى قرص المجرة، وهناك مايزيد عن ١٥٠٠ منها معروفة فى عنقوديات كروية. ويمكن استنباط مسافة بعد بعض نجوم آر آر لايرى باستخدام تكنيكات أخرى (سنذكر المزيد عن ذلك فيما بعد)، ولهذا فقد عرف علماء الفلك منذ بعض الزمن أنها كلها لها تقريبا نفس متوسط النصوع الأصيل (تقريبا نفس المرتبة المطلقة، حسب متوسطها عبر زمن دورة كاملة من التغير). وقد أعطى هذا بالفعل إرشادا تقريبيا لمسافات بعد العنقوديات الكروية، وذلك من قياسات النصوع الظاهرى لما تحويه من نجوم آر آر لايرى؛ على أنه حدث فى وقت أحدث أن تم الكشف عن علاقة وثيقة جدا بين اللون المضبوط للواحد من نجوم آر آر لايرى وبين نصوعه المطلق. وبالتالى، فعندما نتمكن من قياس لون نجم كهذا فى مجموعة عنقودية كروية (وعلماء الفلك يعنون بكلمة «لون» القياس الدقيق لنصوع النجم عند كل طول دقيق لسلسلة من أطوال الموجات عبر الطيف)، سنتمكن من أن نستنبط من نصوعه الظاهرى مدىً بعد المجموعة العنقودية على نحو أدق نوعا.

هناك أيضا تكنيك أقل إتقانا لتقدير مسافة بعد العنقوديات الكروية، يتضمن عمل رسم هـ - ر بيانى للمجموعة العنقودية، وتعديل كل ما فيه من مراتب (أى فى الواقع أن ننزلق بالخط الذى يمثل التتابع الرئيسى للمجموعة العنقودية على رسم هـ - ر البيانى) حتى يقع هذا التتابع الرئيسى مباشرة فوق التتابع الرئيسى المعيارى الذى يتحدد بدراسة النجوم القريبة. وكما ينبغى، فإن قدر التعديل الذى يلزم إجراؤه سيخبرنا عن مسافة بعد المجموعة العنقودية؛ ولكن العقبة هنا أن النجوم القريبة، مثل الشمس، مصنوعة من مادة سبق بالفعل أن عولجت فى جيل أو أكثر من النجوم الأسبق، وبالتالى فإن تركيبها الكيمائى يختلف عن تركيب النجوم الأولية التى تصنع عشيرة العنقودية الكروية. وهذا يؤثر بالتأكيد فى موضع التتابع الرئيسى فى رسم هـ - ر البيانى، ولكن ما من أحد يعرف تماما كيف يؤثر فيه. وإذن، فإن تكنيك آر آر لايرى هو أفضل تكنيك لقياس المسافات إلى العنقوديات الكروية، وبالتالى استنباط أعمارها (بمساعدة من الإنحناء فى التتابع الرئيسى).

ومع ذلك، علينا ألا نندفع مع فكرة أن هذا أمر سهل؛ فما ذكرته هنا من خطوط عريضة لتوصيف التكنيك كله له مظهر جذاب خادع وراءه حشد من الصعوبات فى الرصد. والحقيقة أنه يمكننا أن نأخذ بعض فكرة صحيحة عن مدى صعوبة المهمة فى هذا كله من حقيقة أنه عند أواخر الثمانينيات من القرن العشرين، لم يكن

حتى قد تحدد بأى درجة من الدقة إلا مسافة بعد عنقوديات كروية عددها حوالى العشرة فقط. وعلى أى حال، فعلينا أن نتذكر أن الراصدين يحاولون فى ذلك تحديد مقادير الطاقة المضبوطة التى يتم إشعاعها عند أطوال موجات للطيف محددة بالضبط، طاقة تبثها نجوم منفردة فى عنقوديات قد تحوى مئات الآلاف من النجوم، على مسافات تكون نمطيا من آلاف السنوات الضوئية. وكما سنرى فيما بعد فقد تحسنت الأمور منذ ذلك الوقت تحسنا دراميا، ولم يكن سبب ذلك وحده الأرصاد التى أجراها القمر الصناعى هيباركوس، وإنما هو أيضا بفضل إنشاء أجهزة كشافات الكترونية جديدة (جـ شـ م = CCD (*) تستخدم فى التليسكوبات التى فى المراصد الأرضية. ولكنى لا أود الدخول فى كل هذه الإنشاءات الجديدة إلا بعد أن أصل بالقارئ إلى ما هو جديد فى قصة فهمنا للكون عموما.

ثار خلاف كثير حول الطريقة الصحيحة لتفسير أرصاد العنقوديات الكروية لتعطينا الأعمار، وهناك أوجه عدم يقين نظرية، كما أن هناك أوجه عدم يقين فى الأرصاد، لأن النماذج ليست بعد جيدة بالدرجة الكافية لأن تحاكى تطور هذه المنظومات بالدقة التى نودها. على أن النقطة الأساسية أن ما صنع قبل هيباركوس من تقديرات لأعمار أقدم العنقوديات الكروية المصاحبة لمجرتنا تصل إلى حوالى خمسة عشر بليون سنة، مع قدر من عدم اليقين يبلغ حوالى زائد أو ناقص ثلاثة بلايين عام. وإذا كانت

(*) CCD مختصر Charge Coupled Device، أو جهاز الشحن المقرون (جشم)، وتقوم هذه الأجهزة بدور الكشاف الألكترونى مع تسجيل الشكل الكترونيا بما هو أدق من التصوير الفوتوغرافى. (المترجم).

تقديرات ما قبل هيباركوس للمسافات إلى العنقوديات الكروية تقديرات صحيحة، ستكون هناك صعوبة قصوى لدفع الطرف الأدنى من مدى هذه التقديرات لينخفض إلى ما يقل عن إثنى عشر بليون عام. وهذا يبدو جميلا ـ وعلى كل حال، فإن تقديراتنا لعمر قرص درب التبانة تشير كلها إلى عمر له حد أدنى من عشر بلايين سنة، ونحن قد توقعنا أن تكون العنقوديات الكروية أكبر عمرا من ذلك.

بدا في منتصف التسعينيات أن عمر أكبر الأشياء سنا فى الكون هو حوالى خمسة عشر بليون سنة. وهذا يعنى أن الكون نفسه عمره على الأقل خمسة عشر بليون سنة. ولكن كيف نقيس «بالفعل» عمر الكون؟ لقد بدأ الأمر كله، كما أشرت من قبل، بقياس المسافات الكونية ـ المسافات ما بعد مجرة درب التبانة التى تعيش فيها الشمس وكل نجوم درب التبانة نفسها هى والعنقوديات الكروية.

عبر الكون

أول مقياس للمسافات الكونية

حتى نفهم الطريقة التى نمى بها علماء الفلك المهارة اللازمة لقياس المسافات عبر الكون إلى المجرات الأخرى (أو فى الحقيقة حتى نفهم كيف نموا المهارة اللازمة للتعرف على المجرات الأخرى بما هى عليه)، فإننا نحتاج لأن نخطو خطوة إلى الوراء فى الزمان لنكون أقرب لديارنا، حتى ننظر أولا لطريقة قياس الفلكيين لأى مسافات تبعد بها الأجرام عن الأرض. وسيبدو من أول وهلة أن من الرائع أننا نستطيع قياس المسافة إلى كوكب المريخ وأن هذا يكاد يماثل فى روعته أن نستطيع قياس المسافة إلى مجرة أخرى - وكما سوف نرى فإن قياس المسافة إلى المريخ يعد عاملا حاسما فى تحديد المسافات إلى المجرات.

وتبدأ العملية كلها بأكثر التكنيكات تأسسا فيما يستخدمه المساحون - أى تكنيك رسم المثلثات (التثليث). إذا أردنا مثلا أن

نعرف مدى اتساع أحد الأنهار، من غير أن نبل أقدامنا، فإن إحدى الطرائق لفعل ذلك هى أن نختار معلما متميزا (مثل شجرة) على الضفة البعيدة لنقيس خط قاعدة لمثلث على جانبنا من النهر. ثم نرصد الشجرة عند كل طرف من طرفى خط القاعدة، باستخدام المزواة (وهى أساسا تليسكوب صغير مركب على حامل ثلاثى) ونقيس الزاوية بين خط الرؤية وخط القاعدة. وعندما نعرف مقياس كلتا الزاويتين هما وطول خط القاعدة، يصبح من السهل حساب مسافة بعد الشجرة عن منتصف خط القاعدة باستخدام قواعد الهندسة. وفى تنويع معروف لنفس الطريقة، يوقف المساح أحد مساعديه عند النقطة موضع اهتمامه (فلن يهمه أن تبتل قدما مساعده) وهو يمسك قضيبا له طول معروف. وفى هذه الحالة تظل المزواة باقية فى مكان واحد، ولكننا نضبط بؤرتها أولا على أحد طرفى القضيب، ثم على الطرف الآخر، ونسجل الزاوية التى بين خطى الإبصار. ومرة أخرى، عندما نعرف طول قاعدة المثلث (طول القضيب) والزاوية المتعلقة بالأمر (وهى هنا زاوية قمة المثلث)، سيكون من السهل حساب مسافة بعد المزاوة عن منتصف خط القاعدة (القضيب). ومن السهل أن ندرك السبب فى أن هذا التكنيك يسمى التثليث.

عندما يكون لدينا خط قاعدة طويل بما يكفى، سنتمكن من قياس المسافة لأى شىء. والقمر هو أقرب جار لنا فى الفضاء، ويمكن على نحو مباشر ملائم أن نرصد القمر فى نفس الوقت من

مراصد تفصلها مسافات شاسعة - لعلها تكون على جانبي المحيط الأطلسي. بل ولن نحتاج حتى إلى استخدام التليفون للتأكد من أن الأرصاد قد أجريت معا في نفس الوقت. ويسجل كل مرصد وضع القمر إزاء خلفية من النجوم عند وقت ما قد حدد مسبقا، وهذا ينبئ الراصدين عند كل مرصد بالزاوية الموجودة بين خط رؤية القمر وخط آخر خيالي يربط المرصدين. سيتكشف لنا من التثليث بهذه الطريقة أن المسافة إلى القمر تبلغ حوالي ستين مثل لنصف قطر الأرض (وبالطبع سيكون علينا إذن أن نقيس نصف قطر الأرض وهذا يتطلب المزيد من تكنيكات المسح التي لن ندخل فيها هنا؛ والنقطة الجوهرية هي أن مسافة بعد القمر يبلغ متوسطها عبر الشهر ٣٨٤٤٠٠ كيلو متر). وإذن فإن المثلث الذي يستخدم لتثليث المسافة للقمر يكون أطول بحوالي ستين مثل عن عرض خط القاعدة المستخدم في التثليث - وهذا مثلث طويل رفيع إلى حد كبير.

وحقيقة أن علماء الفلك يستطيعون الآن قياس المسافة إلى القمر بهذه الطريقة قد لا تبدو مثيرة جدا. والأولى أن الأمر الأكثر إثارة هو أن علماء الفلك استخدموا من زمن طويل يصل إلى ١٦٧١، التكنيك نفسه بالضبط لقياس المسافة إلى كوكب آخر، هو المريخ. وتطلب ذلك أن قام فريق من الراصدين برصد موضع المريخ إزاء خلفية من النجوم، وذلك من مرصد باريس المريخ. بينما سافر فريق آخر إلى كايين في جيانا الفرنسية، لإجراء أرصاد للكوكب

الأحمر متزامنة مع باريس. والأمر العظيم بشأن قياس المسافة إلى المريخ (أو فى الحقيقة المسافة لأى كوكب آخر فى المنظومة الشمسية) هو أن هذه هى المعلومة الإضافية الوحيدة التى نحتاج لها، إلى جانب الفترات الزمنية المعروفة لمدارات الكواكب (الزمن الذى يستغرقه كل منها ليدور مرة حول الشمس)، وذلك حتى نستطيع حساب مسافة بعد كل واحد من الكواكب عن الشمس، مستخدمين قوانين حركة الكواكب التى اكتشفها جوهان كبلر فى بداية القرن السابع عشر والتى يفسرها قانون اسحق نيوتن عن التربيع العكسى للجاذبية. والحقيقة أننا لا نحتاج بالفعل لأن نعرف هذا التفسير لقوانين كبلر من أجل استخدامها بهذه الطريقة (لم ينشر نيوتن نظريته عن الجاذبية حتى ١٦٨٧). حدد الفلكيون الفرنسيون المسافة من الأرض للشمس بأنها ١٤٠ مليون كيلو متر. ولا يقل هذا عن أحسن التقديرات الحديثة إلا بحوالى ١٠ مليون كيلومتر.

لم تعد تلك التقديرات الحديثة تعتمد بعد على التثليث لتستنتج المسافات إلى الكواكب، ثم بالتالى المسافات إلى الشمس. فنحن الآن ترتد إلينا أصداء الرادار من الزهرة والمريخ، وهما الكوكبان اللذان لهما مدارات أقرب ما يكون لمدار الأرض، ثم نقيس مسافة بعدهما عن طريق الوقت الذى تستغرقه نبضات الرادار، التى تنتقل بسرعة الضوء، لتصل إلى هناك ثم ترتد ثانية. إلا أن التثليث مازال له دوره الحاسم فى الفهم الحديث لمقياس المسافات

الكونية، لأن كل هذه الحيل فى هندسة المنظومة الشمسية تعطينا بدقة هائلة جدا مسافة واحدة أساسية، هى متوسط مسافة بعد الأرض عن الشمس. وتبلغ هذه المسافة ١٤٩٥٩٧٨٧٠ كم، والخطأ المحتمل فى تحديد هذه المسافة الفلكية بالذات أقل من±٢ من الكيلومترات. ويبلغ قطر مدار الأرض حول الشمس ضعف هذه المسافة، وهذا أطول خط قاعدة أمكن قط لأى راصد من البشر استخدامه فى التثليث - وإن كان بعض علماء الفلك يحلمون بوضع مرصد أوتوماتيكى فى مدار حول الشمس يتجاوز مدار المشترى، بحيث يمكنهم العمل على خط قاعدة أكبر بما يوافق ذلك. على أنه حتى الآن فإن مدار الأرض هو أحسن خط قاعدة لدينا، وهو خط القاعدة الذى يعطينا القياسات المباشرة الوحيدة للمسافات إلى النجوم.

أدرك علماء الفلك سريعا جدا إمكانات هذه الأنواع من القياس لتحديد المسافات عبر المنظومة الشمسية. دعنا نتذكر أن فكرة وجود منظومة شمسية توجد الشمس فى مركزها لم تستنبط بصورة صحيحة إلا بواسطة نيكولاس كوبرنيكوس فى العقود المبكرة من القرن السادس عشر ولم تنشر إلا سنة وفاته فى ١٥٤٣ . ولم تكتسب الفكرة تقبلا واسعا إلا بعد ما أجراه كبلر من بحث نظرى (فاكتشف أن مدارات الكواكب حول الشمس إهليلجية، وليست دائرية)، وبعد أرصاد جاليليو الذى وجد أدلة قوية على أن نموذج الشمس المركزية صحيح - وكان من أعظم اكتشافاته تأثيرا اكتشافه

أن المشترى له أربعة أقمار تدور من حوله، بما يشبه كثيرا طريقة دوران الكواكب حول الشمس.

لم يتم استنتاج قوانين كبلر لحركة الكواكب (التى تنطبق أيضا على مدارات الأقمار) إلا فى العقد الأول من القرن السابع عشر، كما وصفت اكتشافات جاليلو فى كتاب «رسول النجوم» المنشور فى ١٦١٠ . وكانت فكرة دوران الأرض حول الشمس مازالت تعد وقتها هرطقة، بالمعنى الحرفى للكلمة (على الأقل فى أعين الكنيسة الكاثوليكية، التى أدانت هرطقة جاليلو فى ١٦٣٢ واحتجزته حبيسا فى منزله لبقية حياته) . ومع ذلك، وكما رأينا، فإن علماء الفلك بحلول ١٦٧١ كانوا يستخدمون هذه المعرفة «المهرطقة» لحساب قطر مدار الأرض حول الشمس.

أدت أرصاد جاليلو أيضا التى أجراها بأول التليسكوبات الفلكية إلى قرع الأجراس لتعلن موت فكرة أن النجوم ربما تكون أنوار دقيقة الصغر مثبتة إلى كرة من الكريستال، بعدها عن الشمس لايزيد كثيرا عن بعد زحل (وكان أبعد الكواكب المعروفة للقدماء) . ولكن ما هى بالضبط مسافة بعد النجوم؟

كان هناك فجوة (علمية وتاريخية معا) بين كوبرنيكوس وكبلر، ملأها تيكوبراهى، الذى عاش بين ١٥٤٦ حتى ١٦٠١ وأجرى أرصادا دقيقة دقة رائعة للمواضع المتغيرة للنجوم فى السماء، وقد استخدم كبلر هذه الأرصاد فى استنباط قوانينه عن

حركة الكواكب. ولكن براهى، مثله فى ذلك مثل معظم الناس فى زمنه لم يتقبل فكرة كوبرنيكوس عن منظومة شمسية توجد الشمس فى مركزها. وأحد الأسباب لعدم قبوله ذلك هو أننا لا يمكننا رؤية النجوم وهى تتحرك على مر السنة. وكان منطق تفكيره أنه لو كانت الأرض حقا فى مدار حول الشمس، سنجد على فترات تبعد إحداها عن الأخرى بستة شهور أننا ننظر إلى النجوم إما عند هذا الطرف أو الآخر لخط قاعدة يساوى قطر مدار الأرض. وفى إمكان أى مساح (وقد كان هناك مساحون جيدون موجودين فى القرن السادس عشر) أن يخبرك بأن هذا يغير من الزاوية التى نشهد بها الأجرام البعيدة، بحيث ستظهر وكأنها تتزحزح عبر السماء. وتسمى هذه الظاهرة «باختلاف الوضع الظاهرى»، ويمكننا أن نراها وهى تعمل تأثيرها بأن نرفع لا غير إصبعا على طول مد الذراع، ثم يغلق الواحد منا كل عين من عينيه بالتبادل. سيبدو له أن الأصبع يثب عبر مشهد الخلفية، لأنه يشهده كل مرة عند هذا الطرف أو ذاك من طرفى خط قاعدة يساوى المسافة بين عينيه. أما النجوم فإنها لاتبدى ظاهرة اختلاف الوضع الظاهرى، وبالتالى فقد استدل تيكو من ذلك، هو وآخرون، على أنه لايمكن أن تكون الأرض فى حالة حركة. أو على الأقل، إذا كانت الأرض تتحرك، فإنه كما أجرى تيكوحساباته، لابد وأن تكون النجوم على مسافة تبعد على الأقل بسبعمائة مثل لمسافة أقصى الكواكب بعدا. وهذا أمر بدا له أنه لا يمكن تصوره، وبالتالى فقد رفض الفكرة.

ظل اللغز مع ذلك يعاود الظهور بعد أبحاث كبلر وجاليليو. ومع تزايد اقتناع الناس بأن الأرض تدور بالفعل حول الشمس، وخاصة بعد قياس قطر الأرض فى ١٦٧١، فإن عجز النجوم عن إظهار أى اختلاف ظاهرى للوضع أصبح يثير ضيقا متزايدا. هل يمكن حقا أن تكون النجوم بعيدة أقصى البعد بحيث أنها لا تظهر اختلاف الوضع الظاهرى حتى عندما نستخدم خط قاعدة طوله ٣٠٠ مليون كيلو متر (بالوحدات الحديثة)؟ على أنه كان هناك مفتاح آخر للغز يدل على أن النجوم لابد وأن تكون على مسافات بعد هائلة - وذلك هو شحوبها. عندما أصبح الناس تدريجيا ينظرون نظرة اعتبار لفكرة أن النجوم قد تكون أجراما مثل الشمس، ولكنها بعيدة بمسافات هائلة، فإنهم أخذوا يحاولون أن يستنبطوا بالضبط المسافة التى يجب أن تبتعد بها الشمس حتى تصبح شاحبة مثل أحد النجوم. ومن التقاليد المفيدة فى علم الفلك أن تقاس المسافات بلغة من متوسط المسافة من الأرض للشمس، وهى ما تسمى بالوحـــدة الفلكيـــة، أو (وف). ويعنى هذا أنه لا داعى لأن نقلق بلاضرورة من أن تكون المسافة للشمس ١٤٠ مليون أو ١٥٠ مليون كيلومتر، لأننا يمكننا دائما أن نضع الأرقام المضبوطة فى مكانها عند نهاية الحسابات. وحتى أعطى القارئ بعض فكرة عن مقياس الكون كما كان مفهوما قبل اختراع جاليليو للتليسكوب الفلكى، فإن المسافة من الشمس إلى زحل كانت فحسب ١٠ وف.

أحد أوجه التقدم العظيمة الأخرى التى أجريت فى القرن السابع عشر، إلى جانب ما حدث من الاكتشافات حول طبيعة المنظومة الشمسية، هو دراسة البصريات. بحث كل من اسحق نيوتن والفيزيائى الهولندى كريستيان هايجنز طبيعة الضوء، وكان أحد الأمور التى عرفاها أن شدة مصدر الضوء تقل حسب مربع مسافة بعده - ولو ضاعفنا مسافة البعد، سيبدو الضوء بدرجة نصوع تصل للربع فقط، وهلم جرا. وقع هايجنز، الذى عاش من ١٦٢٩ إلى ١٦٩٥، على طريقة يستخدم فيها ذلك لقياس المسافة للنجم الناصع سيريوس (الشعرى اليمانية). إذا عرفنا مثلا أن سيريوس يبدو وكأنه فى درجة نصوع تبلغ فقط جزء من المليون من نصوع الشمس ولو خمنا أن سيريوس له فى الحقيقة نفس نصوع الشمس بالضبط، سوف نستنتج أن سيريوس بعيد بمسافة من ألف مثل لبعد الشمس (أى أننا سنضع سيريوس على مسافة من ١٠٠٠ وف فوق خريطتنا للكون)، لأن ١٠٠٠ هى الجذر التربيعى للمليون.

حاول هايجنز أن يقارن بين نصوع الشمس وسيريوس بأن سمح لضوء الشمس أن يدخل إلى حجرة من خلال ثقب دقيق فى حاجز، وجعل الثقب بالحجم المناسب بالضبط لجعل الضوء الذى يمر من خلاله ناصعا مثل سيريوس. وإذا تمكن من قياس ذلك الكسر من سطح الشمس الذى يرى من خلال الثقب فإنه سيستنتج ما هو كسر نصوع الشمس الذى يناظر نصوع سيريوس (وهو أنصع نجم فى سماء الليل).

كان هذا فى حد ذاته أمرا صعبا بما يكفى، ولكن دعنا نتذكر أنه لم تكن توجد فى تلك الأيام أى صور فوتوغرافية، وأنه كان من اللازم أن تجرى مقارنة النصوعين من الذاكرة. كانت هذه الطريقة بكل أمانة بدائية وتقريبية جدا. ولكنها أعطت هايجنز تقديرا من ٢٧٦٦٤ وف لمسافة بعد سريوس، وكان هذا أحد أول الأدلة المباشرة على أن المنظومة الشمسية مجرد شظية ضئيلة تافهة فى كون أعظم كثيرا.

ابتكر الرياضى الاسكتلندى جيمس جريجورى تكنيكا أكثر قليلا فى حذقه ودقته ونشره فى ١٦٦٨ . بين جريجورى أنه سيكون من الأسهل مقارنة نصوع سيريوس مع نصوع أحد الكواكب. ويمكننا فى الحقيقة اختيار وقت فى مدار الكواكب يكون فيه نصوعه كما يرى من الأرض يضاهى مضاهاة وثيقة نصوع سيريوس. وأى كوكب يكون مرئيا لأنه فحسب يعكس الضوء من الشمس واستطاع جريجورى أن يحسب كيف تبدو درجة نصوع الشمس، من مسافة بعد الكوكب، وأن يقدر مقدار ما ينعكس مما يصل من ضوئها، وأن يحسب كيف يظهر نصوع هذا الضوء المنعكس عندما يعود ثانية للأرض. وبوضع كل هذه الأشياء معا توصل إلى أن مسافة بعد سيروس هى ٨٣١٩٠ وف.

على أنه كان لابد من مراجعة هذا التقدير لنجد أنه قد زاد بعد إعادة معايرة مقياس المنظومة الشمسية، بما فى ذلك مسافة بعد

الكواكب التى استخدمت فى هذا الاختبار. وأجرى أسحق نيوتن نفسه تحديثا لحسابات جريجورى وتوصل إلى أن مسافة بعد سيريوس تبلغ مليونا واحدا من الوحدات الفلكية - ولكنه ترك هذه النتيجة المذهلة لتذوى بين صفحات مسودة نسخة كتابه «نظام العالم»، الذى لم ينشر إلا فى ١٧٢٨، بعد وفاته بعام. هكذا تنبه علماء الفلك أخيرا للضخامة الحقيقية للكون، وفهموا السبب فى عدم ملاحظة اختلافات الوضع الظاهرى للنجوم، حتى مع استخدام خط قاعدة بلغ طوله قطر مدار الأرض حول الشمس (٢ وف)، وكان لابد من أن ينقضى مايزيد عن مائة عام بعد نشر «نظام العالم»، حتى تصبح التليسكوبات وتكنيكات الرصد دقيقة بما يكفى لقياس مسافات بعد القليل من النجوم المجاورة قياسا مباشرا، باستخدام اختلاف الوضع الظاهرى.

بين جاليلو، أفضل طريقة لأداء هذا، وذلك فى كتابه «حوار حول النظامين العظيمين للعالم» الذى نشر فى ١٦٣٢ (وكان السبب المباشر لمحاكمته بتهمة الهرطقة). إذا اتفق لنجمين أن وقعا قريبين أحدهما من الآخر على خط الرؤية من الأرض، ولكن أحدهما أبعد كثيرا عن الاخر، سيحدث على مر عام أن النجم الأقرب سيبدو وكأنه يتحرك جيئة وذهابا عند مقارنته بالنجم البعيد، وذلك بسبب اختلاف الوضع الظاهرى - تماما مثلما يبدو أصبع اليد وكأنه يتحرك جيئة وذهابا إزاء خلفيته عندما ينظر إليه المرء بكل عين بالتبادل. ولما كنا نقارن نجمين هما تقريبا على

طول خط الرؤية نفسه، فإنه ينبغى أن يلغى ذلك الكثير مما فى المقارنة من المشاكل التى يكون على الفلكيين التغلب عليها، مثل تأثير جو الأرض على الضوء المار من خلاله.

وعندما أمكن أخيرا إجراء هذه المقارنات فى نهاية ثلاثينيات القرن التاسع عشر، تبين منها تماما مدى البعد الشاسع للنجوم حتى أقربها منا. وكانت درجات اختلاف الوضع الظاهرى كما قيست بالفعل دقيقة الصغر ـ بما يقل عن ثانية واحدة من القوس. وحتى نضع ذلك فى المنظور الصحيح، فإن هناك ٣٦٠ درجة فى الدائرة، و٦٠ دقيقة من القوس فى كل درجة، و٦٠ ثانية من القوس فى كل دقيقة. ويبلغ حجم القمر فى سماء الليل مايزيد بالكاد عن ٣٠ دقيقة قوس؛ ويبلغ حجم «أكبر» إزاحة لاختلاف الوضع الظاهرى تم رصدها لأى نجم ما يقل عن جزء من الستين من جزء من الثلاثين من حجم القمر كما يرى من الأرض ـ أى حوالى جزئين من الألف من القطر الظاهر للقمر.

وحتى يحول الفلكيون هذه المقاييس الزاوية إلى مسافات فإنهم يفضلون الإستمرار مع الوحدة الفلكية كمعيار لهم، وهذا أمر سهل، لأن وف هى بالضبط نصف خط القاعدة الذى يستخدم فى أرصادهم. وهم يعرفون وحدة «اختلاف الوضع الظاهرى» بالثانية من القوس» أو الفرسخ، بأنها المسافة التى يكون عندها خط قاعدة طوله(١) وف مقابلا لزاوية من ١ ثانية قوس. وبالتالى فإن النجم

الذى يبعد بمسافة فرسخ واحد سيظهر إزاحة زاوية عبر السماء على مر ستة شهور قدرها، ثانية من القوس، حيث أن قطرمدار الأرض هو ٢ وف. وإذا أدخلنا أفضل القياسات الحديثة للمسافة من الأرض للشمس، فإن الفرسخ الواحد يقابل مسافة من ٣,٢٦١٦ سنة ضوئية، حيث السنة الضوئية هى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة وهو يتحرك بسرعة ٢٩٩٧٩٢ كيلو متر فى كل ثانية (وبالتالى فإن الفرسخ الواحد يزيد بالكاد عن ٣٠٠٠٠ بليون كيلو متر). لايوجد أى نجم آخر على مدى فرسخ واحد من الشمس، وأقرب نجم، وهو ألفا سنتورى (قنطورس ألفا) يبعد بمسافة ١,٣٢ فرسخ (٤,٢٩ سنة ضوئية). أما سيريوس الذى درسه جريجورى، وهايجنز، ونيوتن (وسبب اختيارهم له هو على وجه الدقة أنه أنصع نجم فى السماء، فخمنوا أن هذا يعنى أيضا أنه ولابد قريب منا قربا وثيقا نسبيا)، فهو حقا واحد من أقرب جيراننا، وهو على مسافة ٢,٦٧ فرسخ (٨,٧ سنة ضوئية). وتبلغ الوحدة الفلكية بالضبط ٤٩٩ ثانية ضوئية (أى أن الضوء يستغرق ٤٩٩ ثانية ليصل إلينا من الشمس)، وبالتالى فإن مسافة بعد سيريوس هى أقل بالكاد من٥٥٠٠٠٠ وف . وهذا قريب قربا مدهشا من مسافة ١ مليون وف التى قدرها نيوتن، مع أن تقديره لم يكن حقا بهذه الدرجة من الدقة، وقد اتفق وحسب أن بعض تخميناته الخطأ قد ألغى أحدها الآخر (وكمثل فإن سيريوس فى الواقع أنصع كثيرا من الشمس، ولو كان نيوتن يعرف ذلك لوضعه على مسافة أبعد

كثيرا) . وحتى نأخذ بعض فكرة عن صعوبة الحصول على قياسات اختلاف الوضع الظاهرى، فقد استغرق قياس مسافة بعد سبعة عشر نجما لاغير بهذه الطريقةزمنا. وصل حتى عام ١٨٧٨ ، بل وحتى بحلول ١٩٠٨ بلغ عدد ما قيس من اختلاف الوضع الظاهرى للنجوم، المائة فحسب.

ما إن نعرف مسافة بعد أحد النجوم حتى نعرف أيضا مدى نصوعه الحقيقى من قانون التربيع العكسى - أى نعرف مرتبته المطلقة التى تعّرف بأنها ما له من نصوع على مسافة ١٠ فرسخ، («المرتبة» هى الوحدة التى يقيس بها الفلكيون النصوع، وبالتالى فإن المرتبة المطلقة لأحد النجوم هى رقم مضبوط بدقة مثل درجة حرارته) . وحيث أن المرتبة الظاهرية تعتمد فقط على المرتبة المطلقة والمسافة فإن علماء الفلك يصفون أحيانا المسافات إلى النجوم حسب ما يسمونه معامل المسافة، وهو فحسب الفارق بين المرتبة الظاهرية لأحد النجوم ومرتبته المطلقة.

كان أهم معلم للنجوم تم اكتشافه من هذا التحديد لمراتبها المطلقة ومسافة بعدها هو التتابع الرئيسى كما يظهر فى رسم هـ - ر البيانى. وكان على هذا الاكتشاف أن ينتظر حتى يتم قياس ما يكفى من المسافات، وما «يكفى» هذه تصل إلى حوالى المائة، وبالتالى فلم يكن من قبيل المصادفة أن هيرتزوبروج وراسل توصل كل منهما مستقلا عن الآخر إلى هذا الاكتشاف فى أوائل القرن العشرين. وبحلول نهاية سبعينيات القرن العشرين كان قد تم تحديد

المسافات إلى كل النجوم خلال مدى من الشمس يبلغ ٢٢ فرسخ (ما يقل بالكاد عن ٥٠٠ من النجوم، وكلها لها اختلاف وضع ظاهرى أكبر من ٠,٠٤٤ ثانية من القوس)، كما تم رسم بيانى لنصوعها (بالمرتبة المطلقة) إزاء ألوانها كما تتحدد بالدقة المعتادة حسب نصوعها عند أطوال موجات معينة) ويبين هذا الرسم بوضوح وجود التتابع الرئيسى، مع تناثر بعض الأقزام البيضاء فى أسفل يسار التشكل البيانى. كان مرصد جامعة ييل قد جمع أحسن كتالوج لاختلافات الوضع الظاهرى للنجوم قبل القمر الصناعى هيباركوس، وفى هذا الكتالوج معلومات عن حوالى ٧٥٠٠ نجم، وإن كان هناك قدر كبير من عدم اليقين فى الكثير من هذه القياسات. ولكن كيف يمكننا تحديد المسافات لأبعد من ذلك فى الفضاء؟

تستطيع قياسات اختلاف الوضع الظاهرى أن تمدنا فقط بالمسافات إلى النجوم القريبة، حتى ولو إستخدام الأدوات الحديثة، ولكنها قد أمدتنا بالفعل بأول مفاتيح لغز مقياس المسافات الكونية. طور علماء الفلك ابتداء من منتصف القرن التاسع عشر وما بعده، تكنيكات أخرى مختلفة لقياس المسافات إلى النجوم التى تبعد بعدا قصيا لايسمح بقياس اختلافات وضعها الظاهرى. وفيما يبدو، فإن بعض هذه التكنيكات يمكن الوثوق بها إلى حد كبير، وبعضها الآخر أكثر تقريبية. ولكن أيا منها ليس بالقياس الهندسى المباشر مثل طريقة التثليث، سواء كان أم لم يكن تحت اسم اختلاف

الوضع الظاهرى. وبمجرد أن ننتقل بعيدا عن مدى اختلاف الوضع الظاهرى، سنجد عنصرا من عدم اليقين فى أى قياس المسافات نستخدمه.

هناك تكنيك مباشر للغاية يستخدم العلاقة الموجودة فى التتابع الرئيسى. فإذا كنا نستطيع قياس لون أحد النجوم، وكنا نعتقد أنه نجم من نجوم التتابع الرئيسى، فإننا سوف نعرف إذن مرتبته المطلقة من لونه. وبالتالى يكون كل ما يجب أن نفعله هو أن نقيس مرتبته الظاهرية لنستنتج مسافة بعده. على أن هناك عقبات عديدة حتى مع هذا التكنيك البسيط. فأولاً، قد يتأثر لون النجم بوجود سحابة من غاز وغبار على خط الرؤية، وبالتالى فإن النصوع الظاهرى العام للنجم قد يتأثر بهذه المادة. ويمكن للواحد منا أن يرى بنفسه هذه العملية وهى تعمل مفعولها. فوجود غبار على خط الرؤية ينحو إلى بعثرة الضوء الأزرق بعيدا، وينحو لأن يسمح بمرور الضوء الأحمر، وبالتالى فإن لون النجم من وراء الغبار يجعل أكثر احمرارا، بينما تصبح الصورة أشحب. وهذا هو السبب فى أن الشمس تبدو حمراء معتمة عند الغروب ـ لأن ضوءها يتبعثر بالتراب الموجود فى جو الأرض. ويحدث بالضبط هذا النوع نفسه من الإحمرار والإعتام (مقدار كبير من الإخماد فى وسط ما بين النجوم) للضوء الآتى من نجوم بعيدة عندما يمر خلال سحب المادة فى الفضاء (هذا الأحمرار بوسط ما بين النجوم ليس له بالطبع أى علاقة بالإزاحة الحمراء، التى سنأتى لها سريعا).

وحتى لو كان لدينا بعض طريقة لأن ندخل هذا الإحمرار فى حساباتنا، فربما نكون أول كل شيء قد خمنا تخمينا خطأ ــ فقد تكون الحقيقة أن هذا النجم لاينتمى مطلقا للتتابع الرئيسى. وهناك نسخ أكثرتعقيدا لهذا النوع من التناول تضع علاقة بين المرتبة المطلقة لأحد النجوم وتفاصيل أكثر رهافة لطيف ضوئه المرئى. على أنه يوجد فى كل هذه التكنيكات عامل واحد مشترك ـ أنها كلها تكون موثوقا بها بأكثر إذا كانت القواعد التى تأسست عليها (التتابع الرئيسى، أو البصمات الطيفية الرهيفة) مما يمكن معايرته باستخدام عدد أكبر من النجوم تكون مسافات بعدها قد تحددت بوسائل أخرى.

هناك إثنان من هذه «الوسائل الأخرى»، لهما أهمية حاسمة فى فهمنا لمقياس مسافات الكون وعمره. وكلاهما يعتمد على القدرة على قياس السرعات التى تتحرك بها النجوم، وهذا بدوره يعتمد على الطريقة التى يتأثر بها طيف ضوء النجم بحركته ــ أو ما يسمى بظاهرة دوبلر.

ينتقل الضوء خلال الفضاء فى شكل موجة، مثل تموجات الماء فى بركة. ويطابق كل لون معين من الضوء طول موجة معينة من الضوء، مع تباعد ذروات الموجات وقراراتها بمسافة معينة. على أنه عندما يتحرك مصدر الضوء تجاه الواحد منا، فإن الموجات تنحشر أمام الجرم المتحرك بفعل حركته، وهذا يعنى أن

يصبح للضوء طول موجة أصغر. يجرى طيف الضوء المرئى إبتداء من الأحمر إلى البرتقالى فالأصفر فالأخضر فالأزرق فالنيلى حتى البنفسجى، وتكون الموجات الأكثر طولا فى هذا الطيف عند الطرف الأحمر، والموجات الأقصر طولا عند الطرف البنفسجى والأزرق من الطيف. وبالتالى فإن هذ الإزاحة لطول موجة الضوء الآتى من جرم يتحرك نحونا تسمى إزاحة زرقاء (وكان ينبغى أن تسمى إزاحة بنفسجية، ولا أدرى لماذا لم تسمى هكذا). وبالمثل، إذا كان جرم مثل أحد النجوم يتحرك بعيدا عنا، فإن الموجات التى يخلفها وراء تمتط بفعل حركته، وبالتالى تتحرك المعالم التى فى الطيف إلى الموجات الأكثر طولا، فتكون هناك إزاحة حمراء.

لو كانت النجوم تبث فحسب ضوءا ينتشر فى اتساق عند كل الألوان، لن تكون هذه الظواهر قابلة للملاحظة. إلا أن الحقيقة هى أن طيف النجم الذى يتكشف لنا بأن نمرر ضوءه من خلال منشور فينقسم إلى مكوناته التى تماثل مكونات قوس قزح (ويسمى هذا التكنيك بالدراسة الطيفية)، هذا الطيف يحوى خطوطا لامعة. وقاتمة محددة تحديدا واضحا وتقابل وجود عناصر معينة فى جو النجم (وهذه هى الطريقة التى نعرف بها مما تتكون النجوم). ويكون انتاج هذه الخطوط الواضحة دائما عند أطوال موجات معروفة على وجه الدقة،وتتعين بدراسات الضوء الذى تبثه الأجسام الساخنة فى المعمل على الأرض؛ وبالتالى فعندما يقيس

علماء الفلك إزاحة هذه الخطوط فى ضوء النجم تجاه الطرف الأحمر أو الأزرق (البنفسجى) من الطيف فإنهم لايقتصرون على التمكن من معرفة ما إذا كان النجم يتحرك مباشرة تجاهنا أو بعيدا عنا، وإنما يتمكنون أيضا من معرفة مقدار السرعة التى يفعل بها ذلك.

وهذا ليس الا بنصف القصة، لأنه لاريب أن النجم فى الواقع يتحرك أيضا عبر خط الرؤية. والحقيقة أن سرعة الحركة خلال الفضاء لايمكن استنتاجها إلا بقياس معدل سرعة دوبلر (سرعة تحرك النجم مباشرة تجاهنا أو بعيدا عنا) وكذلك بسرعة حركته الجانبية (السرعة التى يتحرك بها النجم عبر السماء)، ثم يضاف العنصرين معا بالطريقة الملائمة، لنستنتج سرعة النجم الفعلية فى الفضاء والاتجاه الذى يتحرك فيه.

وكما أنه ليس هناك الا عددا قليلا نسبيا من النجوم القريبة قربا كافيا لقياس مسافة بعدها قياس مباشرا بالتثليث واختلاف الوضع الظاهرى، فبمثل ذلك تماما ليس هناك إلا عددا قليلا نسبيا من النجوم القريبة قربا كافيا لقياس حركتها عبر السماء. إلا أنه فى هذه المرة يوجد شىء واحد على الأقل يحاول علماء الفلك الحصول عليه. فاختلاف الوضع الظاهرى لأحد النجوم هو شىء يقاس على مر شهورمعدودة، وسنجد أنه متماثل من سنة للأخرى. أما حركة النجم عبر خط الرؤية (أى حركته المحققة برطانة علم الفلك،)

فتتضايف من سنة للأخرى. وكلما انتظرنا لزمن أطول كان من الأسهل معرفة ما إذا كان النجم يتحرك إزاء خلفيته من النجوم الأبعد، بشرط أن يكون وضعه قد قيس بدقة منذ البداية. ويتضح هذا بشدة من الطريقة التى تم بها اكتشاف الحركة المحققة. كان إدموند هالى مهتما بتصنيف كتالوج لمواقع النجوم الناصعة، ولاحظ فى ١٧١٨ أن مواقع ثلاثة نجوم من المسجلة فى الكتالوجات القديمة التى جمعها الإغريق القدماء، ليست موجودة فى الأماكن التى رآها الإغريق فيها. وهذه النجوم هى سيريوس، وبروكيون (الشعرى الشامية) وأركتوروس (السماك الرامح)، التى تحركت كلها على نحو ملحوظ فى الفضاء عبر السماء على مدى ألفى عام ــ فتحرك سيريوس بدرجة كاملة من القوس، بما يبلغ ضعف قطر البدر الكامل كما يرى من الأرض.

ولم يكن صدفة أن ثبت فى النهاية أن هذه النجوم الثلاثة قريبة جدا منا، وكذلك أنها من بين أنصع ثمانية نجوم فى السماء. ذلك أن أقرب النجوم لنا يكون من المرجح أن تكون ناصعة وكذلك أيضا أن تتحرك حركة مرئية عبر السماء. ولكن هذه الخصائص الثلاث لاتسير دائما يدا بيد. وأكبر ماتم رصده من حركة محققة هو لجرم يعرف بنجم بارنارد، وهو نجم يبعد عنا* بمسافة تبلغ فقط ١,٨ فرسخ، ويندفع عبر السماء بسرعة من ١٠,٣ ثانية من القوس (نصف واحد فى المائة، من القطر الزاوى للقمر)، فى كل سنة؛ ولكنه نجم شاحب أشد الشحوب (فتبلغ مرتبته المطلقة جزء واحد

فقط من المائة من الشمس) بما لايسمح برؤيته بالعين المجردة. والحركة المحققة للنجم المرئى للعين البشرية وحدها دون عون تكون نمطيا أقل من جزء من المائة مما سجل نجم بارنارد.

حتى نستخدم السرعات لتحديد مسافة بعد النجوم سيعتمد الأمر على أن يكون لدينا مجموعة من النجوم (كلما زاد عددها كان ذلك أفضل) كلها تقريبا تبعد عنا بالمسافة نفسها، وتتحرك معا خلال الفضاء. ويوجد لحسن الحظ مجموعات لنجوم هكذا. وهى تسمى مجموعات عنقودية، والمجموعات التى لها علاقة بهذا الجزء من قصتنا تسمى عنقوديات مفتوحة، لأن لها بنية فضفاضة، تختلف تماما عن بنية العنقوديات الكروية المحشودة حشدا محكما، والتى قابلناها فيما سبق. وطريقة تحديد المسافات بتحرك العنقوديات تعتمد على قياس السرعات المستعرضة ـ أى الحركات المحققة ـ لكل النجوم فى العنقودية.

أول شىء يهمنا هو الاتجاه الذى يبدو أن كل نجم يتحرك فيه عبر السماء. ولما كانت العنقودية تتحرك معا خلال الفضاء، سنجد عندما نرسم خطا على خريطة النجوم ليبين اتجاه حركة كل نجم أن كل الخطوط ستبدو وكأنها تتقارب تجاه نقطة واحدة على الخريطة (أو أنها تتفرق من نقطة وراء النجوم). والنجوم فى الحقيقة لاتتقارب بهذه الطريقة، فهذا خداع بصرى، يشبه تماما الخداع البصرى الذى يبدو أنه يجعل الخطين المتوازيين الطويلين

لقضيبى السكة الحديد المستقيمين يتلاقيان عند نقطة على الأفق. الأمر المهم أن هذا يجعلنا نعرف الاتجاه الحقيقى الذى تتحرك فيه العنقودية ككل خلال الفضاء. ثم بقياس سرعات دوبلر، سنعرف السرعات الفعلية للنجوم (وكلها تكون متماثلة كثيرا إحداها مع الأخرى لأنها موجودة فى مجموعة عنقودية) على طول خط الرؤية (سرعتها القطرية). ويمكننا من هذين القياسين، استنتاج ما يكونه الجزء من الحركة الفعلية للعنقودية ككل، بالكيلومترات لكل ثانية، الذى يوافق حركتها المحققة عبر السماء، كما تقاس بثوانى من القوس. حان الوقت الآن لأن ندخل فى حساباتنا السرعة التى يبدو أن النجوم تتحرك بها عبر خط الرؤية. إذا كنا نعرف السرعة الجانبية الحقيقية (المستعرضة)، سنعرف إلى أى مدى تحرك النجم بالفعل بزاوية قائمة على خط الرؤية فى سنة، أو عقد من السنين، أو زمن أطول، ويصبح هذا خط الأساس لنا. وإذا عرفنا الإزاحة الزاوية التى قيست للنجم عبر السماء فى ذلك الوقت، فسوف نتمكن من استنباط مسافة البعد، وذلك مرة أخرى بالتثليث.

وهذه حيلة بارعة جدا، وهى أيضا، مثل اختلاف الوضع الظاهرى، تكنيك هندسى مباشر يمثل قياسا حقيقيا للمسافات. ولكنه موثوق به بدرجة أقل من اختلاف الوضع الظاهرى، لأن النجوم فى العنقودية لاتتحرك كلها على وجه الدقة فى خطوط متوازية تجاه نقطة عند الأفق، إن جاز التعبير؛ فكل منها يتأثر بجاذبية الآخر، وبعوامل أخرى، بحيث يكون لكل منها عنصر من سرعة

عشوائية، كما يكون لها أيضا سرعة تتشارك فيها كأعضاء فى العنقودية. والمجموعة العنقودية بالطبع، تكون حسب صميم طبيعتها شىء له امتداد. وأفضل ما يمكن أن نأمله هو أن نقيس متوسط المسافة للعنقودية، وستكون النجوم المفردة فى العنقودية أقرب إلينا قليلا عن المتوسط، أو أبعد منا قليلا عنه.

ينجح هذا التكنيك إذا كان لدينا مجموعة عنقودية فيها وفرة من النجوم، وإذا كانت نجومها المفردة قريبة بما يكفى لأن تنبسط عبر رقعة من السماء كبيرة بما يكفى لأن نتبين بوضوح اتجاهات حركاتها المفردة. ثمة أنباء سيئة هنا وهى أنه لايوجد سوى عنقودية واحدة تفى بالفعل بهذه المتطلبات وتسمى عنقودية هيادس (القلائص). وقد حددت على نحو تقريبى مسافات بعد عنقوديتين، أخريتين باستخدام هذا التكنيك. إلا أن النقطة الجوهرية هى أننا نعرف فقط المسافة إلى مجموعة عنقودية وحيدة بدرجة معقولة من الدقة، باستخدام طرائق هندسية مباشرة. وثمة أنباء طيبة إلى حد ما، وهى أن عنقودية هيادس توجد بالكاد عند الحد الذى يتيح سبرها بطرائق اختلاف الوضع الظاهرى لما قبل زمن هيباركوس، ومع أن أوجه عدم اليقين فى هذه القياسات تكون كبيرة عند هذه المسافات (وبالتالى لايمكن الاعتماد عليها فى حد ذاتها)، إلا أنها تعطينا بالفعل مسافة تضاهى المسافة بطريقة العنقودية المتحركة. أما الأنباء الطيبة فهى أن عنقودية هيادس تحوى الكثير من النجوم (مئات عديدة منتشرة عبر امتداد

يتكشف من هذا التكنيك أن قطره يزيد قليلا عن ١٠ فرسخ) وهى نجوم لها خصائص مختلفة، بحيث أننا عندما نقيس مسافة بعد هذه العنقودية الواحدة سنتمكن من معايرة تكنيكات الدراسات الطيفية التى تبين علاقة المظهر المرئى لأحد النجوم مع مرتبته المطلقة. أما الأمر الأفضل، فهو أنه فيما يبدو ليس هناك أى إخماد أو إحمرار للضوء الاتى من المجموعة العنقودية، لأنه لاتوجد مادة معتمة فى خط الرؤية.

نستنتج من ذلك أن مجموعة هيادس العنقودية. لها معامل مسافة يتراوح بين ٣,٢ و٣,٤، بما يقابل مسافة من ٤٠ إلى ٥٠ فرسخ. ومع ذلك فإن لنا هنا كلمة تحذير. ذلك أنه حدث عبر السنوات الأربعين من ١٩٤٠ إلى ١٩٨٠، أن زاد مقدار، «أفضل تقدير» للمسافة إلى عنقودية هيادس من ٣٥ إلى ٤٥ فرسخ، أى زيادة من ٣٠ فى المائة. وهذا هو أسهل قياس للمسافة علينا أن ننشغل بأمره عندما نستنبط مقياس المسافات الكونية.

أكاد أخجل وأنا أخبر القارىء عن الطريقة الخطيرة الأخرى لقياس المسافات إلى النجوم، وذلك لأنها تبدو غاية فى السخف. ولكنها تنجح بالفعل على نحو ما. والفكرة هى أن كل النجوم فى جيرتنا من درب التبانة تتحرك معا حول مركز مجرتنا بالطريقة نفسها تقريبا التى يدور بها كوكب مثل المشترى هو وعائلته من

الأقمار معا حول الشمس. وإذا كان الحال هكذا بالضبط، فإنه بمكن استنتاج المسافات إلى النجوم القريبة بقياس حركتها المحققة، وسرعتها القطرية، ووضعها عند المسافات المناسبة لأن تتضايف هذه السرعات لتعطى للنجوم نفس ما لدينا من حركة عامة حول المجرة. إلا أن النجوم المفردة لها بالطبع تحركات عشوائية، لأنها تتأثر بجاذبية النجوم القريبة، وتتأثر بديناميات سحب الغاز التى تكونت النجوم منها؛ وهى لاتتحرك كلها حول المجرة فى مسارات تكون على الوجه الأكمل مسارات دائرية متوازية كقضبان السكك الحديدية. وبالتالى فإن هذه طريقة ميئوس منها تقريبا لقياس المسافة لنجم مفرد. على أنه قد ثبت فى النهاية أنها تنجح فى أن تعطينا متوسط المسافة إلى عدد كبير من النجوم التى تتناثر عبر السماء كلها، حيث السرعات العشوائية المفردة تلغى إحداها الأخرى (ونحن نعرف أنها تنجح تماما، لأننا حيثما أمكن نجرى مقارنة للمسافات التى تحدد بهذه الطريقة مع المسافات التى حددت بتكنيكات أخرى).

يسمى هذا التكنيك اختلاف الوضع الظاهرى الإحصائى، ويمكن استخدامه لإعطاء مسافات تصل بعيدا إلى حوالى ٥٠٠ فرسخ. وإحدى طرائق استخدام هذا التكنيك هى أن تأخذ عينة من النجوم يكون لها كلها نفس اللون ولكنها تقع فى أجزاء مختلفة من السماء، ثم نستنبط «متوسط المسافة» إليها. وسيعطينا هذا فكرة عن متوسط المرتبة المطلقة لنجم له هذا اللون. وإذا رأينا بعدها نجما بنفس اللون

ولكنه على مسافة بالغة البعد بما لايتيح قياسها مباشرة باستخدام أى من هذه التكنيكات، سيمكننا عندئذ أن نخمن أن له نفس المرتبة المطلقة مثل المتوسط الذى استنتجناه فى التو، وأن نحدد مسافة بعده بمقارنة ذلك مع مرتبته الظاهرية.

وفى هذا طريقة إرشاد تقريبية إلى حد كبير إذا كنا سنستخدم اللون بالفعل لاختيار عينتنا من النجوم، لأن هناك عوامل كثيرة يمكن أن تؤثر فى اللون الذى ندركه لنجم مفرد. على أن اختلاف الوضع الظاهرى الإحصائى له بالذات أهمية تاريخية فى تحديد المسافات إلى متغيرات آرآر لايرى، التى كما سبق أن رأينا، يمكن استخدامها، فى حد ذاتها، كمؤشرات للمسافة. وكما سبق أن بينت، فما إن أمكن تحديد المسافة إلى مجموعة نجوم عنقودية مفتوحة واحدة، هى هيادس، تحديدا مضبوطا بدرجة معقولة، حتى أمكن استنتاج المسافات إلى عنقوديات مفتوحة أخرى بمقارنة أشكال هـ ـ ر البيانية لهذه العنقوديات مع شكل هـ ـ ر البيانى لهيادس، وتعديل نصوع النجوم لنجعل التتابعات الرئيسية يقع أحدها فوق الآخر (وإن كانت مشاكل الإحمرار والاخماد تطلع علينا هنا برؤوسها القبيحة). وهذه الطريقة التى تسمى بمواءمة التتابع الرئيسى، تنجح على نحو يعتمد عليه بالنسبة للنجوم صغيرة السن ذات الكتلة الكبيرة (أى التى تكون ساخنة وناصعة) بما يصل إلى مسافات من حوالى ٧٠٠٠ فرسخ (٧ كيلو فرسخ). ولكن دعنا نتذكر أن العنقوديات الكروية لها أشكال هـ ـ ر مختلفة عما يكون للعنقوديات المفتوحة، لأنها تحوى نوعا مختلفا من نجوم، تشكلت عندما كانت المجرة صغيرة السن.

ولسـوء الحظ، فـمع أن نجـوم آر آر لايرى مـؤشـرات جـيـدة للمسافات، وكان لها اهميتها بالذات فى استنتاج المسافات إلى العنقوديات الكروية، وبالتالى استنتاج مقياس مجرتنا نحن، إلا إنها أيضا أشحب من أن تكون لها فائدة كبيرة فى تحديد مقياس المسافات عندما نخرج إلى الفضاء ككل. والنجوم الأساسية التى استخدمت لتأخذنا إلى ما وراء درب التبانة هى متغيرات أنصع كثيرا تسمى القيفاوسيات Cepheids. وحتى نفهم أهميتها فى قصتنا، علينا أن نرجع وراء للسنوات المبكرة من القرن العشرين، قبل أن يعرف حتى أى فرد كيف يعمل أحد النجوم، ولنزعم أننا لانعرف شيئا عن أمورمثل المسافات إلى العنقوديات الكروية وطريقة دوران الشمس حول مركز درب التبانة.

لم يأت لنا أول بصيص لفهم ما تكونه درب التبانة إلا عند بداية القرن السابع عشر، عندما وجه جاليلو أول تليسكوب له إليها. قد تعودنا الآن كل التعود على فكرة أن الشمس مجرد نجم واحد بين مئات البلايين من نجوم مشابهة تصنع كلها معا مجرة تدعى درب التبانة بحيث أصبح من الصعب أن نضع اكتشاف جاليليو فى منظوره الصحيح. على أنه قد يكون مما يساعد فى الأمر أن نوضح أنه عندما يكون المرء فى أكثر الليالى ظلمة وسوادا، حيث يغيب القمر عن السماء ولاتوجد أى سحب تعتم على المشهد، ويكون المرء فوق تل مرتفع بعيدا عن أى ضوء لمدينة، سيكون أكبر عدد من النجوم يمكنه أن نتبينه بالعين البشرية المجردة فى

أى مكان من الأرض هو فقط ألفى نجم. وهذا هو السياق الذى يجب أن نضع فيه تعليق جاليليو عندما وجه تليسكوبه إلى درب التبانة فقال أنه رأى نجوما «بلغ من كثرتها أنها تكاد تفوق ما يمن تصديقه»، ثم ذكر فى كتابه «رسول النجوم» أن درب التبانة «هى فى الحقيقة ليست إلا تكدسا لنجوم لاتعد تجمعت معا فى مجموعات عنقودية. وأينما وجه التليسكوب على أى جزء منها، بدا فى التوفى المشهد حشد هائل من النجوم. وهناك كثرة من هذه النجوم كبيرة نوعا وناصعة تماما، أماعدد النجوم الأصغر فيتجاوز تماما مايمكن إدراكه».

كان الفليكون يعرفون حتى قبل أيام جاليليو بوجود سحب لامعة أخرى فى السموات يسمونها بالسدم. وأكبر هذه السحب (كما ترى من الأرض) هى سديم اندروميدا (المرأة المسلسلة)، الذى يرى بالعين المجردة (إذا كان المرء محظوظا بما يكفى لرصد سماء الليل فى ظروف من إظلام بالغ، بعيد عن الأضواء الصناعية)، وسيدو سديم أندروميدا كرقعة ضوء شاحبة فى كوكبة أندروميدا (ومن هنا كان الإسم). وسرعان ما كشف التليسكوب عن أن السماء فيها عدد أكبر كثيرا من هذه الرقع الضوئية، وطرح جاليليو أنها ببساطة سحب من نجوم بعيدة بعدا بالغا لايتيح حتى للتليسكوبات تبين تحددها فى نجوم مفردة. وتابع الفكرة أفراد قليلون، ومن أهمهم إيمانويل كانت، الذى التقط اقتراحا روج له فى منتصف خمسينيات القرن الثامن عشر وكان قد طرحه عالم الفلك

البريطاني توماس رايت، ويقول فيه أن البعض على الأقل من هذه السدم قد تكون «جزرا كونية»، منظومات نجوم مثل مجرتنا ولكنها بعيدة وراء درب التبانة.

على أن هذه الفكرة لم تكن بالرأى الواسع الانتشار. وطرح آخرون أن هذه السحب هى حقا سحب من المادة فى الفضاء وليست مكونة من أعداد كبيرة من النجوم المجمعة معا. ومع ذلك، فبوجه عام، ظلت السدم بعد اختراع التليسكوب الفلكى بما يزيد كثيرا عن مائة عام، تعامل كأمر يثير هياجا عصبيا، شيء يلزم أن يتجنبه علماء الفلك الذين يبحثون أمورا تثير اهتماما أكثر كثيرا، مثل المذنبات. والحقيقة أن أول كتالوج أساسى لمواضع السدم فى السماء، يحوى بالكاد ما يزيد عن مائة جرم، قد قام بتصنيفه عالم الفلك شارلز ميسييه فى ثمانينيات القرن الثامن عشر، وذلك من أجل حماية الأفراد الذين لا دراية لهم بهذه الأجرام خشية أن «يكتشفوها» ويخطئوا التعرف عليها فيحسبونها من المذنبات.

وأخيراً، ثبت فى النهاية أن هناك أنواعا مختلفة من السدم. فبعضها حقا سحب من غاز وغبار فى الفضاء، جزء من مجرة درب التبانة، وهذه ليست لها إلا أقل علاقة بقصة مقياس المسافات الكونية. على أن بعضها هى حقا منظومات للنجوم ـ بعضها عنقوديات كروية، وكمثل فإن سديم أندروميدا مجرة هى بالأحرى. تشبه مجرتنا درب التبانة . وهذه كلها فى الصميم من

قصتنا الحالية. إلا أنه ظل هناك لزمن طويل بلبلة فى دراسة هذه الأجرام، ويمكننا أن ندرك بعض فكرة عن مدى ذلك من إسهامات وليام هرشل العلمية عند نهاية القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر. كان هرشل صانعا ممتازا للتليسكوبات، وقد أجرى مع أخته كارولين مسوحا تفصيلية للسماوات، واكتشفا الكوكب أورانوس فى ١٧٨١. ودرس هرشل، من بين أشياء أخرى السدم التى صنفها ميسييه فى كتالوجه، وسجل فى ١٧٨٤ أنه تمكن من رؤية نجوم فى تسعة وعشرين من هذه السدم، بما يطرح أن الأمر سيكون فحسب مسألة مرور وقت (ووجود تليسكوبات أكبر) ستتحدد بعدها بوضوح كل هذه الأجرام فى نجوم، بنفس الطريقة التى بين بها تلسكوب جاليليو الصغير وضوح تحدد درب التبانة فى نجوم.

ولكن هرشل عندما تتطلع إلى المزيد من هذه الأجرام المثبتة فى القائمة، وجد أنه حتى مع استخدام تليسكوبات أكبر وأفضل لايمكن أن تتحدد تلك الأجرام بوضوح على هذا النحو. وعندما زادت تليسكوباته العاكسة حجما من قطر ١٩ بوصة (٤٨سم) إلى قطر ٤٨ بوصة (١٢٢سم) وجد هرشل أن الكثيرمن السدم هى حقا سحب غاز، بعضها يحيط بنجوم مفردة. وجعله هذا يميل بآرائه بعيدا تجاه الطرف الأقصى الآخر بحيث كتب فى ١٨١١: «قد نحدس أيضا أن السدم ليست إلا مجموعات عنقودية من النجوم تتخفى بسبب بعد مسافتها بعدا كبيرا جدا، إلا أن خبرتنا لزمن

أطول والدراية الأفضل بطبيعة السدم، لاتسمح لنا بأن نسلم تسليما عاما بمبدأ كهذا».

وأضيف عامل جديد فى منتصف القرن التاسع عشر إلى هذه الصورة المبلبلة، وذلك بما أكتشفه إيرل أف روس، وكان نبيلا أيرلنديا لديه معا الاهتمام الشديد بعلم الفلك والمال اللازم للانغماس فى هذا الاهتمام، فبنى تليسكوبا ضخما قطرمرآته ٧٢ بوصة (١٨٣سم)، واكتشف أن بعض السدم لها نمط لولبى، مثل دوامة نراها من أعلى. وسرعان ما تلى ذلك فى ١٨٦٤، أن خطا ويليام هجنز خطوة حاسمة بأن ولف بين دراسة الطيف وعلم الفلك، فقسم الضوء الآتى من الأجرام الفلكية متجمعا بالتليسكوب، وحلل الخطوط التى تتكشف فى الطيف. وبين هذا بصورة نهائية حاسمة أن الأجرام من نوع العنقوديات الكروية هى حقا تجمعات من النجوم ــ فأطيافها تشبه أطياف ــ نجوم كثيرة تضايفت معا.وبين ذلك أيضا أن أجراما أخرى مثل سديم أوريون (الجوزاء)، مصنوعة من سحب ساخنة من غاز منتشر، وليس من آلاف من النجوم المحشودة معا. ومع ذلك فان التكنيك لسوء الحظ لم يكن وقتها جيدا بالدرجة الكافية لأن يكشف حتى عن الطبيعة الحقيقية لسديم أندروميدا، ناهيك عن اللولبيات الأكثر شحوبا التى بحث روس أمرها. كان الضوء الآتى من هذه الأجرام ببساطة أشحب من أن تجمعه تليسكوبات ذلك الزمن بالقدر الكافى لأن يحلله علماء دراسة الطيف.

على أن إنشاء دراسة الطيف الفوتوغرافية فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر لم يضع حتى حلا للقضية، وكان أوسع الآراء انتشاراً عند بداية القرن العشرين هو أن مجرتنا درب التبانة تمثل الكون بأكمله (كما نسميه الآن)، وأن العنقوديات الكروية منظومات نجوم أصغر كثيرا من درب التبانة، ولكنها جزء منها، وأن السدم الشاحبة سحب غاز داخل مجرة درب التبانة. على أنه لم يكن هناك أحد فى ذلك الوقت يعرف حتى مدى كبر درب التبانة نفسها.

لما كانت درب التبانة نفسها شريط ضوء منبسط مباشرة حول السماء، فقد اقتنع أفراد مثل توماس راى وإيمانويل كانت عند زمن يرجع وراء الى القرن الثامن عشر، أننا نعيش فى مكان ما فى الوسط من تجمع للنجوم فى شكل قرص مسطح، وحاول وليم هرشل فى ثمانينيات القرن الثامن عشر أن يجعل لهذا التخمين أساسا أكثر علمية، وذلك بأن يحصى عدد النجوم فى ٦٨٣ منطقة حول درب التبانة، فوجد أن هناك تقريبا نفس العدد من النجوم المرئية فى رقع من السماء بنفس الحجم فى كل مكان حول درب التبانة؛ وبدا هذا كمزيد من برهان على أننا نعيش وسط ما كان وقتها هو الكون المعروف. على أنه لم يحدث إلا فى منتصف القرن التاسع عشر أن بدأ علماء الفلك فى تحديد المسافات إلى النجوم تحديدا دقيقا، وأجرى الفلكى الهولندى جاكوبز كابتين فى العقود الأولى من القرن العشرين تحديثا لتحليل هرشل بأن أجرى

إحصاءاته هو للنجوم وضمنها فى هذه المرة تقدير مسافات بعد النجوم التى كان يحصيها. واستنتج أن درب التبانة منظومة لها شكل العدسة (قرص تستدق أطرافه، كقرص ألعاب القوى)، وقطره حوالى ١٠ كيلو فرسخ وسمكه حوالى ٢ كيلو فرسخ، وتوجد الشمس فى مكان ما قرب مركزه. ونحن نعرف الآن أن كابتين كان مخطئا، لأنه لم يدخل فى الحساب المادة الغبارية بين النجوم (لم يكن ليستطيع ذلك، فلم تكن قد اكتشفت وقتها)، وهى مادة مركزة فى مستوى درب التبانة، وتعمل كالضباب فى الفضاء، مسببة إخمادا كبيرا لضوء النجوم بحيث تكون قيدا على المسافة التى يمكن لنا رؤيتها فى مستوى درب التبانة. فكان كون كابتين هو فى الواقع مجرد الشريحة المحلية لجانبنا من مجرة درب التبانة. إلا أن أرقامه تعطى المرء إحساساً بمدى صغر الكون كله حسب ما كان يعتقده الفلكيون الى زمن قريب يصل إلى العقد الثانى من القرن العشرين.

جاءت الخطوة الكبيرة التالية فى الكون بمساعدة من تلك المتغيرات القيفاوسية التى سبق ان ذكرتها. ولكن حيث أن قيمتها كمؤشرات للمسافة لم تكتشف هى نفسها إلا فى العقد الثانى من القرن العشرين، فقد أتت متأخرة جدا بما لايسمح بأن تؤثر فى بحث كابتين (الذى ولد فى ١٨٥١ ومات فى ١٩٢٢). بنيت هذه الخطوة على أبحاث هنريبتا سوان لفيت، التى كانت تعمل فى مرصد كلية هارفارد، تحت إشراف عالم الفلك إدوارد بيكرنج. كان

بيكرنج مشغولا بمهمة ملحمية لتحليل آلاف النجوم وتصنيفها فى كتالوج. وكان الكثير من هذه النجوم من السماوات الجنوبية، وقد صورها فوتوغرافيا وليم شقيق بيكرنج وذلك من محطة رصد فى بيرو ـ وكان نصف الكرة الجنوبى فى ذلك الوقت منطقة خصبة بالذات لهذا النوع من البحث، وذلك لأن معظم الأرصاد الفلكية السابقة كانت مركزة فى نصف الكرة الشمالى لأسباب تاريخية واضحة.

أحد أكثر المعالم إثارة فى السماء الجنوبية هى وجود سد يمين اثنين يعرفان بسحابتى ماجلان الكبرى والصغرى، على إسم المستكشف ماجلان الذى كان أول أوربى لفت النظر إليهما. وبحلول نهاية القرن التاسع عشر لم يكن هناك أى شك فى أنهما منظومتان من النجوم ـ وهما تبدوان كقطعتين من درب التبانة انفصلتا عنها ـ ولكن أحدا لم يكن يعرف المسافة إليهما . وعهد إلى لفيت كعمل روتينى، أن تقوم بمهمة تعيين نجوم متغيرة فى هذه «السحب»، بأن تقارن اللوحات الفوتوغرافية التى تلتقط فى أحايين مختلفة لترى إن كانت أى نجوم قد غيرت نصوعها أثناء هذه الفترة. وكان ماوجدته مفاجئة كاملة.

سميت طائفة المتغيرات المعروفة بالقيفاوسية على اسم نموذجها

الأصلى قيفاوس دلتا Delta Cephei (ويعنى الاسم ببساطة أنه رابع أنصع نجم فى الكوكبة القيفاوسية)، وقد درسها الفلكى الإنجليزى جون جودريك فى ثمانينيات القرن الثامن عشر. وكانت لها من قبل أهميتها لعلماء الفلك لأنه مع أن القيفاوسيات المختلفة لها دورات تغير مختلفة، إلا أن كل نجم قيفاوسى يغير نصوعه بطريقة منتظمة جداً، فينصع ثم يعتم قبل نصوعه ثانية بإيقاع يتكرر مضبوطا فى دورة بعد الأخرى. وبعضها له دورات طولها أقل من يومين، وبعضها طول دوراته حوالى مائة يوم، ولكنها كلها تظهر نفس النمط من السلوك (وفيما يعرض، فإن معظم الناس يرون نجما قيفاوسيا بدون إدراك ذلك ـ فنجم القطب الشمالى، بولاريس، نجم قيفاوسى بدورة من أربعة أيام، ولكن مدى تغاير نصوعه صغير جداً، فلا تكشف عنه العين البشرية).

وجدت لفيت ما يقرب من ألفى نجم متغير فى السحابة الماجلانية الصغرى (س م ص)، وركزت انتباهها على النجوم التى لها تغيرات نصوع منتظمة، التى ثبت فى النهاية أن معظمها قيفاوسية (مئات من النجوم المفردة). إلا أنه بينما كانت البيانات تتوارد، بدأت لفيت تدرك أن لهذه القيفاوسيات شأن خاص. وسجلت فى زمن مبكر يصل إلى ١٩٠٨ أن القيفاوسيات الأنصع فى (سمص) لها دورات زمنية أطول من القيفاوسيات الأشحب (بمعنى أنها تقطع دورتها ببطء أكثر). ونشرت فى ١٩١٢ اكتشافها لعلاقة رياضية مضبوطة بين نصوع الواحد من النجوم

القيفاوسية فى سمص ودورته الزمنية. فإذا كان الزمن الذى يستغرقه نجم قيفاوسى ليمر بدورته مرة واحدة هو حوالى إحدى عشرة ساعة مثلا، فإن هذا النجم القيفاوسى يكون له فى المتوسط عشر واحد فقط من نصوع نجم مشابه تكون له دورة زمنية من حوالى خمسة أيام.

كان النصوع الذى استخدمته لفيت فى حساباتها هو بالطبع النصوع كما يرى من الأرض ـ أى المرتبات «الظاهرية». إلا أن الاستنتاج كان واضحا. فلابد من أن كل النجوم فى (سمص) تقع تقريبا على نفس المسافة منا، بحيث أن فقدان النصوع من ضوء أى نجم فى (سمص) وهو فى طريقه إلينا لابد وأن يكون متماثلا (بمعنى أن كل النجوم لها معامل المسافة نفسه). وبالتالى فإن ما أكتشفته لفيت بالفعل هو وجود علاقة بين زمن دورة أحد النجوم القيفاوسية ومرتبته المطلقة ـ أى علاقة زمن الدورة / الضياء. لم يظهر هذا قط فى دراسة النجوم القيفاوسية الأقرب إلينا، وذلك لأنه على الرغم من أن الواحد من النجوم القيفاوسية قد يكون نصوعه ضعف الآخر، إلا أنه قد يكون أيضا على مسافة تبعد بالضعف، مما يحجب العلاقة بالنصوع. على أنه إذا استطاع الفلكيون الآن أن يقيسوا بدقة المسافة لنجم قيفاوسى محلى واحد لاغير، بأى من الطرق المقننة، فإنهم سيتمكنون من تحديد نصوعه المطلق، وأن يعايروا علاقة زمن الدورة ـ الضياء. وبقياس زمن دورة النجم القيفاوسى، سيعرفون مكان انتمائه للعلاقة الرياضية التى اكتشفتها

لفيت. وسيعنى هذا أنهم يستطيعون قلب هذه العلاقة وأن يستخدموا قياس زمن دورة أى نجم قيفاوسى فى (سمص) [أو فى أى مكان آخر] لاستنتاج مرتبته «المطلقة». وبالمثل تماما، إذا عرفنا المرتبة المطلقة «و» المرتبة الظاهرية لنفس الأجرام، سنعرف مسافة بعدها (إذا استطعنا أن ندخل الإخماد فى حسابنا بدقة).

سرعان ما استجاب الفلكيون للإكتشاف. وفى ١٩١٣ طبق دين إجنار هيرتزيرونج (نفس هيرتزيرونج الذى كان أحد مبتكرى رسم هـ - ر البيانى) طريقة اختلاف الوضع الظاهرى الاحصائية على عينة من ثلاثة عشر نجم قيفاوسى فى جيرتنا، واستخدم ذلك فى إيجاد «متوسط» المسافة والنصوع، ثم حوله إلى مرتبة مطلقة لنجم قيفاوسى مفترض له زمن دورة من يوم واحد بالضبط. وباستخدام مقاييس من زمن دورات قيفاوسيات (سمص) التى درسها لفيت، أعطاه ذلك مسافة بعد (سمص) تبلغ ١٠٠٠٠ فرسخ (أكثر من ٣٠٠٠٠ سنة ضوئية). وكان هذا فى الحقيقة تقديرا مبالغا فيه، فهو لم يدخل فى حسابه الإخماد، الذى جعل النجوم البعيدة تبدو أشحب. ولكن هذا دل على قدرة التكنيك الجديد. وهذا أمر يستحق أن يوضع فى منظوره الصحيح. كانت أول مرة تقاس فيها مسافات بعد القليل من النجوم هى فحسب فى أربعينيات القرن التاسع عشر - مسافات من سنين ضوئية قليلة. أما الآن بعد فترة من سبعين سنة، بما يكاد يماثل بالضبط فترة عمر الإنسان (ويوضح هذه النقطة توضيحا رائعا مدى عمر بيكرنج

نفسه الذى ولد فى ١٨٤٦ ومات فى ١٩١٩)، أصبح علماء الفلك يتحدثون عن مسافات للأجرام الفلكية أكبر بعشرة آلاف مثل من المسافات إلى هذه النجوم التى كانت تبدو غاية فى البعد فى أربعينيات القرن التاسع عشر.

فى ١٩١٤ و بعد إسهام هيرتزبرونج فى هذا البحث بسنة، أجرى هنرى نوريس راسل (نفس راسل الذى كان المبتكر الآخر لرسم هـ - ر البيانى) هو وتلميذه هارلو شابلى تحليلا مشابها فى الولايات المتحدة، مدخلا حساب الامتصاص فى وسط ما بين النجوم. وكان هناك مشاكل فى هذا البحث أيضاً؛ ولكنه يستحق الذكر لأنه يضع علامة ظهور شابلى لأول مرة فى القصة، وشابلى هو الذى سيؤدى سريعا إلى تغيير آراء علماء الفلك عن وضعنا فى المجرة، إن لم يكن فى الكون. وفيما يعرض، فإن أفضل التقديرات الحديثة للمراتب المطلقة للقيفاوسيات تدل على أن الواحد منها الذى يقع فى منتصف مدى نصوع القيفاوسيات، يكون أنصع من الشمس بعشرة آلاف مرة، وأن أنصعها يكون، عندما نستخدم أرقاما مستديرة، أنصع بألف مثل من نجوم آرآر لايرى.

عاد شابلى فى ١٩١٨ إلى معايرة القيفاوسيات، وخرج بقياس منقح لخط الأساس، بما أعطاه معيارا معقولا يستخدم لسبر حجم وشكل المجرة. على أنه اكتسب تبصرا جديدا من دراسة القيفاوسيات تأتى له عندما طبق علاقة زمن الدورة - الضياء على النجوم المتغيرة فى العنقوديات الكروية، واستنتج مسافة بعدها عنا. وكان هناك عنصر من الحظ فى ذلك - وهو أن النجوم المتغيرة

التى اختارها شابلى ليدرسها فى العنقوديات الكروية، كانت، كما نعرف الآن، نجوم آر آر لايرى، وليست نجوما قيفاوسية. ولما كانت نجوم آر آر لايرى أشحب من القيفاوسيات، فإن هذا يعنى أن المسافات التى استنتجها شابلى كانت أكبر مما ينبغى. فما كان يبدو له وكأنه نجم قيفاوسى ناصع بعيد كان فى الواقع نجم من نجوم آر آر لايرى الأكثر إعتاما عن القيفاوسيات، وهو ليس بعيدا عنا كل هذا البعد. ومن الجانب الآخر، كان شابلى مازال لايدخل الحساب الملائم للإخماد، ولو فعل لكان قد وضع النجوم التى درسها على مسافة أقرب كثيرا (فالنجم الناصع القريب الذى يعانى من الإخماد يبدو كالنجم الأشحب والأكثر بعدا الذى بلا إخماد). وقد حدث إلى حد ما أن الخطأين أحدهما يلغى الآخر، بحيث أن النتائج التى انتهى إليها شابلى كانت تقع فى ملعب كرة من النوع المناسب. وكما يتفق، إن المسافات المظبوطة إلى العنقوديات الكروية لم تكن ضرورية حتى يصبح أهم اكتشاف لشابلى أمرا واضحا. وعندما استخدم شابلى ببساطة المسافات النسبية للعنقوديات (أى أن نعرف أن العنقودية (أ) بعيدة بضعف بعد العنقودية (ب)، وهلم جرا) استطاع أن يستنتج طريقة توزيع العنقوديات الكروية بالنسبة إلى الشمس. فوجد أنها لا تتوزع فى كرة حول الشمس؛ وبدلا من ذلك فإنها تتوزع فى كرة حول نقطة تبعد عنا بآلاف الفراسخ (مثلما يتوزع البرقوق فى حلواه من البودنج)، فى اتجاه كوكبة ساجيتاريوس (القوس والرامى) التى

تقع فى منتصف شريط الضوء الذى تشكله درب التبانة فى السماء.

كان هذا واضحا، بالرغم مما يوجد من قدر كبير من الإخماد (كما نعرف الآن) يعوق الأرصاد فى مستوى درب التبانة، لأن الكثير من العنقوديات الكروية ترى مرتفعة لأعلى من مستوى درب التبانة (أو منخفضة لأعمق منه). وهذا يشبه نوعا الطريقة التى يمكن أن نرى بها من الضواحى ناطحات السحب العالية فى مركز إحدى المدن. فلن نستطيع رؤية قاعدة ناطحة السحاب، لأن كل البيوت التى على المستوى الأرضى ستقع فى طريق خط رؤيتنا (الاخماد). ولكن لو نظرنا لأعلى، سنتمكن من رؤية قمم ناطحات السحاب. وإذا كانت لدينا طريقة لقياس مسافة بعد قمم الناطحات المفردة (والرادار يؤدى الغرض فى هذه الحالة)، سنتمكن من عمل خريطة لمركز المدينة بدون أن نترك حتى بيتنا. وهكذا كان شابلى فى الواقع يرى بعض العنقوديات الكروية على مستوى أعلى أو أسفل من مستوى درب التبانة من جانبنا فى المجرة، وبعضها تقريبا على مسافة بعد المركز، ولكنها أعلى منه كثيرا (أو أسفل منه)، وبعضها على مسافة تبعد عن مركز درب التبانة كثيرا، وهى أعلى أو أسفل مستوى المجرة على الجانب البعيد من الشمس.

يدل هذا الاكتشاف على أننا لا نعيش فى منتصف درب التبانة،

ويدل أيضا على أن مجرة درب التبانة بأكملها أكبر كثيرا مما كان يعتقد من قبل. وهكذا يصف شابلى فى ١٩٢٠ درب تبانة، بدلا من أن يكون قطرها حوالى ٦٠٠٠ فرسخ ومركزها هو الشمس، فإن عرضها هو تقريبا ١٠٠٠٠٠ فرسخ، ومركزها يبعد عنا بحوالى ١٠٠٠٠ فرسخ. كانت هذه مسافات كبيرة نوعا، ولكن علماء الفلك أصبح لديهم لأول مرة مؤشرا للموضع النسبى للشمس والمنظومة الشمسية فى درب التبانة. وتعطى التقديرات الحديثة قطرا يبلغ حوالى ٢٨٠٠٠ فرسخ، بينما تبعد الشمس عن مركز القرص بحوالى ٨٠٠٠ أو ٩٠٠٠ فرسخ، وسمك القرص نفسه مائتى فرسخ لاغير (وهذا سمك رفيع «جدا» فى الحقيقة عندما يقارن بقطر من ٢٨ «ألف» فرسخ). وتتوزع العنقوديات الكروية فى كرة تحيط بكل شىء ومركزها عند مركز درب التبانة. والنقطة المهمة أن هذه الأرقام هى تقريبا بنفس النسب مثل نسب الأرقام التى وجدها شابلى، وإن كانت الأرقام أصغر.

الأمر المؤسف بشأن تقدير شابلى لحجم درب التبانة، أنه عندما جعلت المجرة ضخمة هكذا، أصبح من الأسهل على علماء الفلك (وخاصة شابلى) أن يتقبلوا فكرة أن كل السدم هى منظومات تنتمى إلى مجرتنا، أو أنها على الأقصى قد تكون منظومات صغيرة من النجوم حول أطراف درب التبانة، مثل جزر عند شاطئ قارة كبيرة. على أنه لم يكن كل فرد يوافق على تفسير شابلى لأدلته. وكان مقياس المسافات القيفاوسى مازال فكرة

جديدة، ويتأسس على عينة صغيرة هكذا من النجوم، بحيث أن الفلكيين الآخرين الذين لم ترق لهم استنتاجات شابلى أحسوا بأنهم مازالوا قادرين على رفضها باعتبارها مما لايوثق فيه، وأن يلقوا بعيدا كل تلك الاستنتاجات التى تتأسس على أرصاد القيفاوسيات.
وكان علماء الفلك الذين يحبذون فكرة أن بعض السدم - خاصة اللولبية - قد تكون مجرات مثل درب التبانة، كانوا ينحون إلى الاعتقاد بأن درب التبانة لابد وأن تكون أصغر كثيرا مما طرحه شابلى. وكان أحد زعماء أنصار هذه الفكرة فى العقد الثانى من القرن العشرين عالم فلك أمريكى إسمه هيبر كيرتس، وقد أصبح خبيرا فى تصوير السدم اللولبية فوتوغرافيا وتحليل مظهرها. وقد لاحظ، من بين أشياء أخرى، أن الصور الفوتوغرافية للسدم الرفيعة، التى تفسر كلولبيات نراها من حرفها، يوجد فيها دائما خط قاتم بطول منتصف السديم، الأمر الذى يطرح تجمع من بقايا ترابية فى مستوى القرص. وإذا كان يوجد تجمعا مشابه من مادة معتمة فى مجرتنا درب التبانة، فإن هذا سيفيد فى تفسير الكثير من ألغاز الإخماد، ويطرح مشابهة وثيقة بين درب التبانة والسدم اللولبية.

اعتبرت هذه القضية مهمة أبلغ الأهمية حتى أنه حدث فى ١٩٢٠ أن نظمت الأكاديمية القومية للعلوم فى الولايات المتحدة مناظرة تمت مباشرة بين شابلى وكيرتس وحاج شابلى بأن مجرة درب التبانة يبلغ عرضها حوالى ١٠٠٠٠٠ فرسخ، وأن موقعنا فيها

يبعد كثيرا عن المركز، وأنها أساسا هى الكون كله. وحاج كيرتس بأن درب التبانة عرضها فقط حوالى ١٠٠٠٠ فرسخ ـ(وربما ذهب إلى أقصى مدى فى جهده للإبتعاد بنفسه عن شابلى)، وأنها مجرد «جزيرة كونية» واحدة بين جزر أخرى كثيرة، وربما تكون سديم لولبى، وأن الشمس قريبة من مركز درب التبانة.

كانت المناظرة غير حاسمة، وهذا مايجب أن تكونه، لأن كل جانب كان على صواب فى جزء وعلى خطأ فى جزء (وزعم كل جانب أنه قد انتصر، وهذه علامة أكيدة على أن المناظرة لم تكن حاسمة). وأكثر جوانب المناظرة إثارة للأهتمام من وجهة نظرنا ما يختص بطبيعة السدم، وكذلك أنه تم نهائيا تقبل القيفاوسيات كمؤشرات مسافات يوثق بها. وقد تم الوصول إلى حل خلال خمس سنوات من اجتماع الأكاديمية القومية للعلوم فى ١٩٢٠، وتم هذا الحل، كما يحدث عادة فى هذه الأمور، عن طريق أرصاد جديدة محسنة. على أنى أود من القارئ قبل أن يواصل السير فى قصة السدم، أن يكون من الواضح له تماما كيف أننا نعتمد كثيرا على أرصاد قليلة لنجوم قريبة نسبيا. وهناك كتاب عنوانه «سلم المسافات الكونية»نشره حديثا فى ١٩٨٥ مايكل روان - روبنسون بجامعة لندن، وقد أورد فيه مسحا شاملا لكل تكنيكات قياس المسافات المعروفة لعلماء الفلك. ولم يعثر إلا على عشرين فقط من القيفاوسيات التى تحددت مسافاتها تحدداً موثوقا به بحيث يمكن استخدامها كأدوات للمعايرة، بل إنه ذكر حتى أن اثنين من هذه

القائمة لهما قياسات نصوع تعد «غير مؤكدة». وقد استخدم علماء فلك آخرون فى حساباتهم مسافات لقيفاوسيات أخرى، تم تحديدها بتكنيكات شتى أقل دقة؛ إلا أن تلك القيفاوسيات الثمانية عشر هى وحدها فقط التى ينجح معها اختلاف الوضع الظاهرى الإحصائى. وهذا العدد يزيد بالكاد عن العدد الذى استخدمه هيرتزبرونج (ثلاثة عشر)؛ وذلك لسبب بالغ القوة وهو أن أى قيفاوسى قريب بما يكفى لأن يعمل كأداة معايرة يلزم أن يكون ناصعا بما يكفى، عند رؤيته من الأرض، حتى يمكن أن يلاحظه علماء الفلك عند بداية القرن العشرين. والأمر وببساطة أنه لا توجد قيفاوسيات أخرى قريبة بما يفى بالغرض.

لست أقول أن هناك أى خطأ خطير فى المعايرة بالقيفاوسيات - وهى تبدو الآن أحسن حالا مما كانت قط، وذلك بفضل تحسين الأرصاد والمقارنة بنماذج الكمبيوتر. ولكن يجدر بنا أن نتذكر ونحن نتخذ أول خطواتنا خارجين إلى الكون ككل، كيف أننا جد محظوظين بأن يكون لدينا بأى حال نوع من معيار نقيس به مقاس الكون.

فى المجهول
ما بعد درب التبانة

حين اعتقد شابلى وآخرون فى أوائل عشرينات القرن العشرين أن السدم الأخرى، بما فيها حتى اللولبيات، هى توابع لمجرتنا أصغر منها، أو هى حتى جزء من درب التبانة نفسها، حينما اعتقدوا ذلك لم يكن ما أدى لهذا هو فحسب تقدير شابلى المبالغ فيه لحجم درب التبانة (الذى تأسس كما نعرف الآن على معايرة خطأ لمقياس المسافات القيفاوسى). كان هناك بالذات أمران مزعجان يلزم على أفراد معسكر كيرتس التوصل إلى حل لهما ـ ونحن نعرف الآن أن كلا الأمرين كان يفسران خطأ فى ذلك الوقت، ولكن لم يكن من سبيل لأن يعرف كيرتس ذلك.

كان أول لغز هو ظهور نجم ناصع قد اندلع فجأة فى سديم يعرف بأنه إم ٣١ (سديم أندروميدا)، وذلك فى وقت يرجع إلى

١٨٨٥ . واكتشف عالم الفلك اسحق روبرتس الطبيعة اللولبية لهذا السديم فى نفس العقد من السنين (ونحن نعرف الآن إن إم ٣١ هى أقرب مجرة لولبية إلى درب التبانة)، واعتبر ذلك بمثابة حالة من اختبار كلاسيكى لتحديد طبيعة هذه الأجرام. وصور النجم الذى اندلع فى السديم فى ١٨٨٥ ، بحيث توفرت الفرصة لأن تدرس أجيال الفلكيين اللاحقة هذه الظاهرة، فلايكون هناك أى مجال للشك فى أن هذا النجم كان حقا ناصعا بالدرجة التى سجلها الراصدون المعاصرون. كانت المشكلة - بالنسبة لمن يحاجون بأن السدم اللولبية منظومات مستقلة مثلها مثل درب التبانة - هى أن هذا النجم «الجديد» هو حقا أنصع مما ينبغى.

سبق للفلكيين أن رأوا (بل وأن صوروا) نجوما قد اندلعت فى درب التبانة نفسها بهذه الطريقة - وهى تسمى نوفا من الكلمة اللاتينية التى تعنى الجديد، وإن كانت فى الحقيقة نجوما قديمة اندلعت فى شواظ قصيرة العمر، وليست نجوما جديدة بالمعنى الحرفى للكلمة. وكان النصوع الظاهرى للنوفا التى رصدت فى إم ٣١ فى ١٨٨٥ هو تقريبا مثل النصوع الظاهرى للنوفا النمطية التى نراها فى درب التبانة نفسها. وإذا كان لكل نجوم النوفا المرتبة المطلقة نفسها تقريبا (وقد بدا وقتها أن هذا حدس معقول)، فإن هذا يعنى أن سديم أندروميدا لابد وأن يكون سحابة غاز مصحوبة بنجم

أو أكثر فى مكان ما من درب التبانة نفسها. وإذا كان أحد السدم اللولبية هو فى الحقيقة جزء من درب التبانة، فربما تكون كل السدم الأخرى جزءا منها.

ومن الممكن أن نقلب هذه الحجة رأسا على عقب. فإذا كان سديم أندروميدا هو حقا مجرة مثل مجرتنا درب التبانة، ففى استطاعتنا أن نحدس «حدسا معقولا» آخر. فمجرة أندروميدا ينبغى، فى حدس على وجه التقريب، أن تكون بنفس مقياس درب التبانة. ويعود هذا بنا مباشرة إلى تكنيكات المسح التقليدية. هل يتذكر القارئ القضيب المعيارى الذى يستخدمه المساحون؟ عندما نخمن أن سديم أندروميدا له نفس مقياس درب التبانة، فإنه يمكننا استخدامه كقضيب معيارى للتثليث، بالطريقة نفسها بالضبط التى يقيس بها المساح عرض النهر من غير أن يبلل قدميه، وذلك بأن يرسل مساعده ليعبر إلى الضفة الأخرى ومعه قضيب الطول المعيارى. عندما نعرف (أو نخمن) المقياس الحقيقى لسديم أندروميدا (أى مقياسه الخطى). فسنعرف بعدها من المقياس الظاهرى للسديم فى السماء (أى مقياسه الزاوى) مدى مسافة بعده، وذلك باستخدام التثليث. ونحن بالطبع لانعرف مقياس السديم؛ ولكن إذا كان السديم له المقياس نفسه مثل درب التبانة فلابد وأنه على مسافة بعد هائلة حتى يظهر كرقعة صغيرة من الضوء فى السماء. وإذا كان بعيدا جدا هكذا، سيلزم أن تكون النوفا التى رصدت فى ١٨٨٥ ناصعة نصوعا مذهلا، أنصع كثيرا من أى

نوفا رآها فلكيو القرن التاسع عشر فى درب التبانة. نستطيع على نحو مباشر أن نحسب نصوع النوفا، ذلك أنه إذا كان سديم أندروميدا بعيدا جدا بمثل ما طرحه كيرتس، فإن نوفا ١٨٨٥ سيكون نصوعها بما يبلغ على الأقل نصوع بليون نجم كالشمس وقد جمعت معا. وبدا وقتها أن هذا مستحيل؛ ولكننا نعرف الآن أنه تحدث بالفعل تفجرات نجمية نادرة جدا، بحيث ينصع نجم وحيد لزمن وجيز بدرجة لاتقتصر على أن تكون مثل نصوع بليون شمس، وانما هى مثل نصوع مائة بليون شمس. وتسمى هذه النجوم سوبر نوفات، ولها دورها الذى تلعبه فى قصة الأبحاث التى تجرى عن عمر الكون، مما سنأتى له فيما بعد.

على أن النقطة المهمة فى حكاية هذه القصة بهذا التفصيل ليست فى أن نقول من الذى كان على «صواب» ومن الذى كان على «خطأ» فى مناظرة ١٩٢٠ . وإنما أود أن أؤكد هنا على أن «الافتراضات المعقولة» يمكن أن تكون مضللة تضليلا شديدا، وأن الافتراضات المختلفة المعقولة حول الشيئ نفسه يمكن أن تؤدى إلى استنتاجات متناقضة تناقضا مباشرا. ولا يمكن أن نعرف أيا من تفسيرات إحدى الظواهر الكونية هو الذى يعطينا التصور الأصح لما يجرى إلا فقط بما نعرفه من الأرصاد الفعلية للكون الحقيقى (ومن المقارنة كلما أمكن بالتجارب التى تجرى فى المعمل، «أو بنماذج الكمبيوتر) .

والحقيقة أنه حتى فى زمن مناظرة كيرتس - شابلى، كانت هناك إشارات بأن ثمة شيء غير عادى بشأن «النوفا» التى رصدت فى إم ٣١ فى ١٨٨٥، ذلك أنه فى ذلك الوقت كانت هناك تفجرات أضعف (تعرف الآن بالنوفات العادية) قد تمت رؤيتها وتصويرها فى سدم عديدة، وبتطبيق نفس الحكم التجريبى عليها، من حيث أنها فيما يحتمل لها نصوع مطلق مماثل للمراتب المطلقة للنوفات الموجودة فى درب التبانة، فإن هذا يعطى مسافات بعد لتلك السدم تتجاوز كثيرا حدود درب التبانة.

على أنه لم يكن هناك بعد أى دليل، وكان لدى شابلى ما يبدو أنه سبب قوى آخر لأن يعتقد أن السدم اللولبية قريبة من منظومة درب التبانة وهى فيما يحتمل جزء منها، وإن كانت أسباب اعتقاده لذلك تكشف عن مشكلة أخرى فى العلم كله، وليس فقط فى علم الفلك - مشكلة التفكير بالتمنى.

كانت المشكلة أن عالم الفلك الهولندى أدريان فان مانن كان يعتقد أنه قد قاس دوران سدم لولبية عديدة. وكانت الطريقة التى حاول أن يقيس بها هذا الدوران طريقة مباشرة تماما - فهو يلتقط لوحات فوتوغرافية لنفس الأجرام على فترات تتباعد سنوات عديدة، ثم ينظر ليرى إن كانت هناك معالم مميزة فى هذه السدم قد تحركت لتدور فى هذه الفترة (وهذا يماثل كثيرا الطريقة التى نتمكن بها من قياس الحركة المحققة لنجم عبر السماء بأن نقارن

بين الصور الفوتوغرافية للجزء نفسه من السماء وقد التقطت على فترات تتباعد بالسنين أو بعقود من السنين) . وزعم فان مانن فى زمن مبكر يرجع إلى ١٩١٦ أنه استطاع أن يكشف عن حركة دوران سنوية دقيقة الصغر لسديم يعرف بأنه إم ١٠١، تصل إلى ٠,٠٢ ثانية من القوس.، وإذا كانت هذه القياسات صحيحة، فإنها تعنى أن إم ١٠١ لابد وأن يكون قريبا نسبيا، لأن الدوران الزاوى يمكن ترجمته إلى سرعة خطية تقابل مسافة بعد الجرم. أما حسب نوع المسافات اللازم لكيرتس، سيكون معنى نوع الدوران الذى سجله فان مانن أن إم ١٠١ يدور بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وبحلول أوائل عشرينيات القرن العشرين كان لدى فان مانن لولبيات أخرى فى قائمته للأجرام التى كشف عن سرعة دورانها، وكلها تؤدى إلى نفس الاستنتاج.

وافق الجميع على أنه إذا كان فان مانن على صواب، فإن قياساته فيها ضربة مميتة لفكرة أن السدم اللولبية مجرات مستقلة؛ على أنه كان لدى معظم الناس تحفظات شديدة لتقبل هذه القياسات على علاتها. ولم يكن الأمر أنهم يعتقدون أن فان مانن قد اخترع هذه القياسات؛ وإنما الأمر فحسب أن هذه القياسات كانت صعبة بما لايصدق بحيث يصعب أن نصدق أنه كان يرى ما كان يعتقد أنه يراه. وعلى أى حال فإن مقياس الظواهر التى كان مانن يعتقد أنه يراها كانت تساوى حوالى ٠,٠٠١ فى المائة من القطر الزاوى للقمر كما نراه من الأرض. ولكن فان مانن كان

صديقا لشابلي - وهذه هي النقطة المهمة . كان شابلي يثق فيه لأنه صديقه؛ وبالتالي فقد تقبل تسجيلاته لقياس معدل دوران اللولبيات على علاتها. على أنه تبين من المزيد من أرصاد أخرى كثيرة خلال العقود السبعة الأخيرة أن فان مانن كان مخطئا بالكامل خطأ بينا.

تعود ريتشارد فينمان (*) أن يقول أنه بسبب التفكير بالتمني يكون أسهل شخص تخدعه في العلم هو أنت نفسك . على أنه يبدو أن العبرة المؤسية في هذه الحكاية بالذات هي أن أسهل شخص تخدعه هو صديقك. والعبرة هنا مزدوجة - ألا نتقبل البراهين لمجرد أنها تأتي من صديق، أو لأنها تضفي ثقلا على نظريتنا الأثيرة؛ ولكن علينا ألا نرفض البراهين لمجرد أنها تأتي من شخص لانميل له، أو لأنها تهدم من نظريتنا المفضلة. وعلينا في الحالين أن نتحقق من البراهين مرتين وأن نتقبل، أيا كانت الأحوال، نتائج تقييم مزاياها تقييما واقعيا.

على أنه أيا ما كانت الأسباب، فقد ظلت توجد بلبلة حول طبيعة السدم اللولبية في النصف الأول من عشرينيات القرن العشرين، ولم يكن في الإمكان حل الأمور إلا بإجراء قياسات مباشرة للمسافات إلى بعض اللولبيات على الأقل. وكان هذا يعني أن نعثر فيها على قيفاوسيات؛ وتطلب ذلك تكنولوجيا جديدة، وتليسكوبات أكبر وأفضل من أي مما كان متاحا من قبل. وأتى كل هذا معا في

(*) فينمان عالم فيزيائي راحل مشهور، حاز على جائزة نوبل ١٩٦٥ (المترجم).

ورقة بحث علمية قرأت فى اجتماع مشترك للجمعية الفلكية الأمريكية والجمعية الأمريكية لتقدم العلم، عقد فى العاصمة واشنطن فى ١ يناير ١٩٢٥ . على أن كيرتس وشابلى كانا وقتها قد غادرا حلبة الصراع هما الاثنين.

كان كيرتس أول من انتقل من مكانه. وكان قد بلغ الثمانية والأربعين فى ١٩٢٠، عام المناظرة مع شابلى، حيث كان يعمل فى مرصد ليك على مونت هاملتون بالقرب من سان جوزيه فى شمال كاليفورنيا. وقد عين فى نفس السنة مديرا لمرصد أليجينى، فأصبح أساسا رجل إدارة، ولم يعد يسهم بعدها إسهاما مباشرا فى الأبحاث الفلكية إلا قليلا. وكان شابلى أصغر كثيرا من كيرتس (فقد ولد فى ١٨٨٥)، وكان يعمل فى مرصد مونت ويلسون بالقرب من باسادينا، فى جنوب كاليفورنيا (كان قرب المرصدين أحدهما من الآخر يضفى مذاقا حريفا على التنافس الودى بين كيرتس وشابلى). انتقل شابلى من مونت ويلسون فى ١٩٢١، وعندما نتبصر وراء بعد وقوع الأمر سيبدو أن هذا الانتقال كان فيه سوء رأى فريد بالنسبة لمستقبله المهنى - حتى وإن كان قد ترك مونت ويلسون ليصبح مديرا لمرصد ها رفارد، وهو منصب ظل يشغله حتى ١٩٥٢، وهو يبنى سمعه المرصد ويسهم فى تدريب أجيال متتالية من أسماء عظيمة فى علم الفلك. على أن شابلى قد خلف وراءه فى مرصد مونت ويلسون تليسكوبا جديدا، بين أيدى اثنين من أعظم الراصدين فى القرن العشرين، وهما أول من وضع الحل لمسألة طبيعة السدم اللولبية، ثم كشفا عن أن الكون له بدايته المحددة فى الزمان.

كان مرصد مونت ويلسون مبنى حول تليسكوب له مرآة عاكسة قطرها ٦٠ بوصة (١٥٢ سم)، بدأ تشغيلها فى١٩٠٨. وانضم إليها فوق الجبل بعد عشر سنوات لاغير تليسكوب هوكر بمرآة من ١٠٠ بوصة (٢٥٤ سم) وقد سمى على اسم المتبرع الذى دفع تكلفته)، وقد ظل هذا التليسكوب أقوى تليسكوب فلكى فوق الأرض لما يقرب من ثلاثين عاما، حين تم إكمال تليسكوب هـــيل المشهور بمرآته ذات المائتى بوصة (٥٠٨ سم) (وقد سمي على إسم جورج إيلرى هيل، الفلكى الذى أوجد مرصد مونت ويلسون وكذلك أيضا مرصد مونت بالومار]، وتم تركيب تليسكوب هيل فى ١٩٤٧ فى مونت بالومار، بالقرب من لوس أنجلوس (غير بعيد عن باسادينا). كان الرجلان اللذان استخدما تليسكوب المائة بوصة لأقصى حدود إمكاناته فى عشرينيات القرن العشرين قد أخذا يعملان بالفعل على المرصد فوق الجبل قبل أن يغادر شابلى.

والأول من هذين الرائدين هو ملتون هو ماسون، وكان قد أصبح فلكيا بطريقة يبلغ من غرابتها أن الأمريستحق القليل من الإستطراد لإعطاء القارىء بعض التفاصيل عن خلفيته. ولد هو ماسون فى دودج سنتر بمينيسوتا فى ١٩ أغسطس ١٨٩١؛ ولكن والديه انتقلا بالأسرة إلى الساحل الغربى وهو طفل. أُخذ هو ماسون فى ١٩٠٤ وعمره أربعة عشر عاما إلى معسكر صيفى فوق جبل مونت ويلسون (وكان هذا فى حوالى وقت إنشاء المرصد)، ووقع فى

حب الجبل. وأقنع والديه بأن يسمحا له بالإبتعاد عن دراسته مدة سنة، وحصل على عمل فى فندق مونت ويلسون الذى كان وقتها فندقا جهيدا (وكان فوق الجبل على ارتفاع أقل من المرصد)، فعمل كخادم وفى الأعمال اليدوية عموما، وفى العناية بحيوانات حمل الأثقال التى كانت تستخدم فى تلك الأيام لحمل السلع (وأفراد الناس) أعلى دروب الجبل.

لم يعد هو ماسون أبدا للمدرسة. وبدلا من ذلك أصبح عند نهاية العقد سائقا للبغال، يعمل فى قوافل حمل الأثقال التى تحمل المعدات لترقى حتى قمة الجبل تماما، حيث المرآة العاكسة ذات الستين بوصة وقد أصبحت جاهزة للعمل (وكانت وقتها أحسن تليسكوب فلكى فى العالم)، وأخذ العمل يتقدم فى القبة والمبانى الأخرى التى ستصاحب المشروع المخطط لتليسكوب المائة بوصة. وكان كل بند من معدات المرصد يرقى الجبل بهذه الطريقة، ابتداءاً من التليسكوبات نفسها، إلى الأخشاب وغيرها من مواد البناء، حتى الطعام لجماعات الإنشاء والفلكيين. وهذا كله فيه ما يشير جيدا لمدى ما حدث من تغير فى التكنولوجيا منذ أوائل القرن العشرين، وإلى القدر الذى كانت مرآة المائة بوصة فى وقتها انجازا حقيقيا. وهناك أيضا نقطة صغيرة مهمة وهى أن كل من كان يعمل فوق الجبل كان عليه أن يحرص على الاحتراس من أسود الجبل، التى كانت وقتها تجوب القمة.

أثناء عمل هو ماسون فى قوافل البغال واستمتاعه بالحياة فى الخلاء، وقع فى حب هيلين دود إبنة المهندس المكلف بما يجرى من أنشطة فوق قمة الجبل، وتزوج الأثنان فى ١٩١١، وعمرهما هما الاثنان عشرين سنة لاغير. وأدى وصول وليدهما وليم فى خريف ١٩١٣ الى اقتناع ملتون بأنه ينبغى عليه فى النهاية أن يفكر فى تحسين أوضاعه، وظل يعمل لثلاثة أعوام كرئيس البستانيين فى إحدى العزب فى باسادينا (تصف بعض التقارير عمله هذا على أنه كان «مقدم عمال فى مزرعة لتربية الخيل»، ولكن باسادينا حتى فى عام ١٩١٤ لم تكن تماما هى الغرب البرى، وكثيرا ما كان مصطلح «مزرعة الخيل، Ranch» يستخدم بنفس الطريقة التى نستخدم بها كلمة «مزرعة، Farm») .

بعد ثلاث سنوات اشترى الزوجان الشابان، «مزرعة موالح» خاصة بهما، ولكن حدث توها تقريبا أن حانت فرصة لم يستطع ملتون وهيلين مقاومتها لشدة توقهما للجبل. فقد أخبرهما والد هيلين أن أحد حراس الأبواب فى المرصد كان على وشك الرحيل، وطرح عليهما أن هذا العمل قد يكون ملائما لملتون الشاب. والأفضل من ذلك أن تليسكوب المائة بوصة قد حدد له أن يكون جاهزاً للتشغيل فى ١٩١٨، وستكون هناك فرصة للجمع بين مهام الحراسة ووظيفة «مساعد ليلى مناوب»، يعاون الفلكيين إن لزم الأمر على كلا التليسكوبين الكبيرين. وكان الأجر متواضعا ـ ثمانون دولارا فى الشهر ـ ولكن الوظيفة تشمل مسكنا مجانيا،

ووجبات مجانية أثناء العمل. وهى تعنى العيش فوق الجبل (وعلى أى حال، لو كان لدى هو ماسون أى نقود لدفعها «لهم» فى المرصد ليسمحوا له بأن يعيش على الجبل). وهكذا عمل بهذه الوظيفة فى نوفمبر ١٩١٧.

تعلم هو ماسون خلال عام كيف يلتقط اللوحات الفوتوغرافية للأجرام الفلكية، مستخدما التليسكوبات الصغيرة فوق الجبل، وأثبت مهارة بالغة فى هذا الفن الملغز حتى أنه عين رسميا فى ١٩٢٠ ضمن هيئة الفلكيين العاملين بالمرصد، وكان ذلك إلى حد كبير بتوصية من شابلى (كان جورج إيلرى هيل مازال يعمل فى ذلك الوقت مديرا لمرصد مونت ويلسون، وأصدر قرار التعيين، كما يروى لنا،وهو شبه متذمر). كان هناك بعض غمغمات متذمرة حول ترقية هذا الشاب الذى لم يكمل تعليمه الثانوى وعمل سائقا للبغال، واتفق لاغير أنه كان صهرا لكبير مهندسى المرصد، ولكن هذه الغمغمات سرعان ما أسكتت عندما أصبح من الواضح ما لهوماسون من قدرات رائعة فى الحصول على الصور الفوتوغرافية الفلكية.

وصف شابلى هوماسون بأنه «واحد من أفضل من كانوا لدينا قط من الراصدين»، وعندما ننظر للأمر على مدى زمن يقرب من ثمانين عاما، فإنه يبدو «أفضل» راصد على الجبل فى عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين. وكان هذا إنجازا بالكامل. ومع العمل

بالأرصاد الفعلية، أخذ يتضح ما يلزم فى تلك الأيام من مهارات خفية للحصول على صور للأجرام الفلكية الباهتة. كان هذا يعنى الجلوس إلى التليسكوب ليلة بعد ليلة (ربما كل ليلة طيلة أسبوع)، مع الإبقاء عليه وهو مصوب بدقة إلى الجرم موضع الاهتمام (وفى حالة هوماسون كان الجرم نمطيا إحدى المجرات) بينما يتجمع الضوء الخارج من الجرم داخل التليسكوب ليوجه إلى لوح فوتوغرافى زجاجى (مغطى بمادة حساسة للضوء) عند بؤرة التليسكوب. وفى تلك الأيام فى زمن ما قبل الكمبيوتر، كانت التليسكوبات تحتاج لرعاية بشرية مستمرة للإبقاء على عملية تعقب مضبوطة بالكامل عبر السماء بحيث تعوض عن دوران الأرض وتبقى الجرم السماوى هو نفسه فى المركز من مجال الرؤية لساعات بأكملها ـ وكان للتليسكوبات بالفعل منظومة تعقب أوتوماتيكية (هى أساساً آلية جهاز ساعة تتحكم فى محركات كهربائية)، ولكن هذه المنظومة كان لها نقط ضعف صغيرة خاصة بها، ولايمكن أن تترك وحدها دون رعاية. وكان من اللازم بالطبع أن تفتح القبة على السماء بحيث يمكن للتليسكوب أن ينظر للخارج، كما كان يلزم أن تبقى بلا تسخين. لأن تيارات حمل الهواء التى ترتفع مارة بالتليكسوب ستجعل مجال رؤيته مضببا. على أن قمة الجبل يمكن أن تكون باردة ليلا حتى فى الصيف (وقد زرتها فى مايو من إحدى السنين، ووقتها كان هناك ثلج فوق الأرض)؛ وكان أحسن وقت للرصد هو بالطبع فى أعماق

الشتاء عندما تكون السماء مظلمة لأطول وقت. وهناك أمر آخر ـ فلا يمكن أن يوجد أى ضوء صناعى داخل القبة، فيما عدا لمبة حمراء معتمة، لأن الضوء الصناعى سيضبب الألواح الفوتوغرفية.

ويجرى العمل فى كل ليلة فى هذه الظروف الصعبة، ويعرض اللوح نفسه بعناية للضوء الآتى من التليسكوب عند بدء دورة الرصد، ثم يقفل عليه فى صندوق مظلم عند نهاية الرصد ليلا. ولا يتجمع الضوء بالكمية الكافية لأن تعطى صورة جيدة للجرم إلا بعد مرور أسبوع أو ما يقرب. ثم يكون على الراصد أن يعالج اللوح بيده فى الظلام (ولنتذكر أن هذا لوح من «زجاج» هش)، مستخدما أولا شتى أنواع الكيماويات لتحميض الصورة، ثم يثبتها بعدها كصورة دائمة فوق اللوح. ولو استخدمت كيماويات فيها خطأ فى تركيزها، أو لو استعملت لزمن خطأ (أو لو انزلق اللوح من قبضة من يمسكه)، فإن جهد أسبوع سيضيع. وهكذا كان من الشروط الضرورية لنجاح المشتغل بالأرصاد الفلكية فى تلك الأيام أن يكون على أقصى درجة من الصبر والهدوء، مع رباطة جأش فى أسلوبه ـ وكما يتفق فإن هذه الخصاص مطلوبة أيضا لسائق البغال لناجح.

على الرغم من أن هوماسون أصبح أفضل راصد فى مونت ويلسون، وربما أفضل راصد فى العالم، إلا أنه أيضا كان يخجل دائما بسبب ما ينقصه من المؤهلات الأكاديمية، وكان بما هو مفهوم، حذرا فى التقدم بطرح أفكاره الخاصة به (خاصة فى أول

أيامه كمشتغل بالفلك) . وامتزج ما لديه من مهارة عظيمة كمصور فوتوغرافى فلكى مع ما فيه من خجل مفهوم ليؤدى ذلك إلى حدث غريب، وقع بما يسبق بزمن قصير مغادرة شابلى للجبل ليزاول منصبه فى هارفارد. كان ذلك فى وقت مبكر من عام ١٩٢١، السنة التى تلت تعيين هوماسون موظفا فى هيئة الفلكيين فى أدنى درجاتها، والسنة التى سبقت تلقيه ترقيته المذهلة إلى مرتبة مساعد فلكى.

أسندت إلى هوماسون مهمة (عهد بها إليه شابلى)، وهى أن يقارن بين ألواح فوتوغرافية لسديم أندروميدا إم ٣١، حصل عليها تليسكوب المائة بوصة الجديد فى أوقات مختلفة، ليرى إن كان هناك أى اختلاف فى هذه الصور (ولعل هذا كان محاولة من شابلى للعثور على أدلة على نوع الدوران الذى زعم فان مانن أنه موجود فى السدم الأخرى) . وكانت طريقة أداء هذا النوع من المقارنة هى بأن «تطرف» الأعين وهى تنظر للوحين فى عارض مناظر من نوع خاص (ومازالت هذه الطريقة تستخدم فى بعض الأحيان، وإن كان استخدام الكمبيوترات هو الغالب الآن) . وبالتطلع هكذا من خلال نظارة هذا الجهاز، يرى المرء كل لوح فى دوره، على نحو متكرر، والصورة ترتد وراء وأماما بين الاثنين. وعندما يفعل المرء ذلك يقفز أى اختلاف بين الصورتين إلى العين البشرية. عندما تطلع هوماسون لألواح سديم أندروميدا طارفا عينيه بهذه الطريقة، دهش لأنه اعتقد أنه قد استطاع أن يرى بقعا

ضوئية دقيقة الصغر موجودة فوق بعض الألواح وغير موجودة في الألواح الأخرى - وكأن هناك نجوما متغيرة فى السديم. وتناول بحرص اللوح الذى فيه أحسن مثل لذلك، ووضع علامات على مواضع المعالم المثيرة للاهتمام فرسم خطوطا صغيرة بالحبر على ظهر اللوح .ثم أخذ اللوح ليعرض على شابلى ما عثر عليه. ولم يفعل شابلى إلا أن تجاهل مازعمه هوماسون. وشرح أولا لأقل الفلكيين درجة على الجبل السبب فى أنه يستحيل تماما أن توجد نجوم متغيرة فى سديم أندروميدا، وذلك بأن كرر أساسا الحجج نفسها التى استخدمها فى مناظرته مع كيرتس. ثم تناول منديلا نظيفا من جيبه، وقلب اللوح الذى كان هوماسون قد ناوله له ومسح تماما علامات الحبر المميزة. ورحل شابلى إلى هارفارد بعدها بأسابيع معدودة فى ١٥ مارس ١٩٢١.

لم يقل هوماسون وقتها أى شيء لأى فرد، وذلك لأسباب واضحة. كان قد وضع قدميه بالكاد على أول درجات السلم الفلكى، بل وكان مدينا حتى بهذا المنصب المتواضع لتوصية شابلى أساسا. ولكنه فيما تلى من حياته المهنية، كان يروى الحكاية فى مناسبات عديدة، وكان أحد المستمعين الذى أثار ذلك اهتمامهم آلان سانديج، الذى سيلعب دورا كبيرا فيما بعد فى قصتنا، وهو من أتتنا عنه هذه الرواية للحكاية. هناك الكثير من أسئلة مراوغة عن «ماذا لو» مازالت معلقة حول هذه الحكاية. هل كان شابلى، لو بقى فى مرصد ويلسون، ربما سيعيد التفكير فى الأمر، ليكتشف

حقيقة السدم اللولبية، أو أن عناده سيكون له تأثيره فى زملائه هناك، ليؤخر اكتشاف هذه الحقيقة؟ لن تفيدنا أى مباراة نلعبها بهذه الأسئلة، ولكن مرة أخرى، فأن مغزى القصة واضح - علينا أن نتقبل الأرصاد أو المشاهدات (أو على الأقل أن نأخذها مأخذا جديا بالقدر الكافى للنظر إليها بالتفصيل)، حتى ولو كانت تتعارض مع نظريتنا المفضلة.

كان هناك رائد آخر، أعاد مع هوماسون تشكيل فهمنا للكون فى عشرينيات القرن العشرين، ومضى بموقفه هذا إلى أقصى الحدود. لم يشارك إدوين هابل حقا فى أى نظرية عن الكون على الإطلاق، وذلك على الرغم مما يحدث الآن من الربط بين اسمه ونظرية الإنفجار الكبير. كان هابل مشتغلا بالرصد، وقد سجل كل ما أنجزه تقريبا من الأرصاد دون أى تنميق لها بتفسيرات نظرية، تاركا للآخرين أن يفعلوا ذلك. وهو أيضا قد أتى من خلفية فيها من الانجازات الأكاديمية ما يتباين تباينا شديداً مع خلفية هوماسون، الذى سيرتبط إسمه معه دائما - وإن كان هابل كما سوف نرى يضخم دائما مما له من وضع إجتماعى ومن إنجازاته خارج علم الفلك.

ولد هابل فى ١٨٨٩ بمارشفيلد فى ولاية ميسورى. وكان واحدا من ثمانية أطفال، وكان أبوه محاميا فاشلا عمل فى التأمينات، ويسافر كثيرا بصفته مديرا يشرف على مكاتب متناثرة، بحيث

كان جدّا الطفل إدوين هما اللذين قاما له بدور أنموذج الذكر البالغ. وكان جده لأمه دكتور طب يدعى وليم جيمس. وكما يُروى لنا كان هو الذى أدخل إدوين إلى عجائب علم الفلك بأن أنشأ لنفسه تليسكوبا خاصا به وسمح للولد الصغير بأن ينظر من خلاله إلى النجوم كمجاملة فى عيد ميلاده الثامن.

انتقلت الأسرة فى نهاية ١٨٩٩ إلى إيفانستون فى ولاية إلينوى، على شاطىء بحيرة ميتشجان، وانتقلت فى ١٩٠١ إلى مدينة هويتون المدمجة حديثا فى الخارج مباشرة من شيكاغو. وهكذا كانت شيكاغو هى المدينة التى التحق فيها إدوين بالمدرسة الثانوية وكذلك بالجامعة، حيث أكتسب شهرة كلاعب رياضى جيد (وإن لم يكن تماما بالنجم الساطع مثلما جعل إدوين الناس يعتقدونه فيمابعد) كما اكتسب شهرة كطالب من الدرجة الأولى. وبعد أن درس العلم والرياضيات لعامين وحاز على درجة المشارك العلمية من سنتين، ركز هابل على دراسة مقررات فى اللغة الفرنسية، والكلاسيكيات، والاقتصاد السياسى، وهو يهدف للحصول على منحة (رودس)، التى فاز بها عن جدارة. وتلقى درجة البكالوريوس فى ١٩١٠، ثم تابع المنحة فى كلية الملكة بأوكسفورد، حيث درس القانون واكتسب أسلوبا مبالغا فيه من «نزعة بريطانية أوكسفوردية» فى الحديث وتأنق السلوك، مما لازمه بقية حياته.

مـات والد هابل فى ١٩١٣، وهو فى عـمـر مـبكر من إثنين وخمسين عاما، وذلك فى وقت يسبق بشهور معدودة الوقت الذى الذى عاد فيه من إنجلترا إبنه الدارس فى منحة رودس. وخلال السنة التالية التى لابد وأنها كانت سنة من صدمة، ساعد إدوين فى تسوية وضع ممتلكات أبيه المتواضعة وتأكد من أن أفراد العائلة الذين كانوا يعيشون وقتها فى لويزفيل، قد ظلوا يقيمون معا. ولم يمارس هابل قط العمل بالقانون، على الرغم مما زعمه بعدها بعكس ذلك، ولكنه عمل بالفعل لمدة سنة مدرسا بالثانوى. وبعد أن أنجز واجباته المباشرة نحو عائلته، انتقل هابل فى ١٩١٤ إلى مرصد ييركس (جزء من جامعة شيكاغو) حيث عمل كطالب بحث فى الفلك (لعله مما يجدر بالذكر أنه لم يتمكن من فعل ذلك إلا بسبب أن أخيه الأصغر بيل اضطلع إلى حد كبير بالمسئولية المالية لرعاية والدة هابل وشقيقاته).

كان مرصد ييركس أول مرصد أنشأه هيل (والذى كان بحلول ١٩١٤ قد انتقل منذ زمن طويل إلى مونت ويلسون)، وقد استخدم فى إنشائه موارد وفرها المليونير تشارلزت. ييركس، الذى كسب أمواله من عربات الترولى. كان الجهاز الرئيسى هناك تليسكوب انكسار (يستخدم عدسات وليس مرايا) من ٤٠ بوصة (١٠٢سم)، كان وقتها واحدا من أفضل التليسكوبات الفلكية فى العالم، وهو مازال أكبر تليسكوب انكسار صنع مطلقا (ولايزال يستخدم). كان عمل هابل الرئيسى كطالب ومساعد بحث بين ١٩١٤ و١٩١٧ أن

يصور فوتوغرافيا أكبرعدد ممكن من السدم الباهتة ـ وعندما التحق هابل بالمرصد كان عدد السدم المصنفة فى كتالوج يصل إلى حوالى سبعة عشر ألف سديم، وكان مما يقدر أنه ربما يكون هناك عدد يزيد عن عشرة أمثال ذلك، ويمكن من حيث المبدأ رؤيته باستعمال تليسكوب الأربعين بوصة فى ييركس، وعاكس الستين بوصة الجديد على جبل مونت ويلسون، وما شابه من الأجهزة. ولكن دعنا نتذكر أن هذا كان لايزال فى وقت يسبق إدراكنا لما يميز بين السدم التى تكون جزءا من درب التبانة وتلك التى نسميها الآن بأنها مجرات. كان أول إسهام لهابل فى علم الفلك هو محاولته لتصنيف السدم حسب مظهرها؛ ومع أن هذا البحث كان مفيدا له بحيث فاز عنه بدرجة دكتوراة الفلسفة فى ١٩١٧، إلا أن جهوده هذه لم تأت له إلا بالشىء القليل طوال خمس سنوات أخرى، وكان هذا فى جزء منه بسبب اشتراك أمريكا فى الحرب العالمية الأولى.

عرض هيل على هابل، حتى قبل إتمامه للدكتوراه، منصبا فى مونت ويلسون، وكان هيل يجرى عملية اقتناص للنابهين حتى يصل إلى زيادة هيئة العاملين فى الجبل ترقبا للوقت الذى يكون فيه تليسكوب المائة بوصة جاهزا للتشغيل، والتفت بالطبع إلى ييركس كمصدر للمرشحين المناسبين للعمل. والحقيقة أن هابل كان يريد البقاء فى ييركس. ولكن لم تكن ثمة موارد مالية متاحة له هناك، وبهذا لم يكن لديه خيار إلا أن يتقبل العرض الذى أتاه

من كاليفورنيا. إلا أنه حدث فى أبريل ١٩١٧ أن أعلنت أمريكا الحرب على ألمانيا كرد على سياسة ألمانيا فى القيام بحرب غواصات بلا قيود. وتطوع هابل فى المشاه بمجرد أن أنهى الإجراءات الرسمية للدكتوراه. ووعده هيل بأن يحتفظ له بوظيفة مونت ويلسون حتى يعود من أوروبا.

تختلف رواية هابل نفسه حول خبراته العسكرية عما ورد فى السجلات الرسمية، وإن لم يكن هناك شك فى أنه توصل إلى رتبة رائد.ولم تصل فرقته السادسة والثمانين إلى فرنسا إلا فى الأسابيع الأخيرة التى سبقت نهاية العمليات الحربية،ولم تر الفرقة قط أى معارك. إلا أن هابل داوم على أن يقول (أو يلمح) بأنه حضر العمليات وجرح بشظايا قنبلة) وأن هذا هو السبب فى أنه لايستطيع أن يبسط مرفقه الأيمن كما ينبغى. وقد تمكن أيضا من أن يتلكأ فى إنجلترا التى يحبها، وطال تلكؤه قبل عودته زمنا أدى لإثارة هيل حتى أنه كتب له حاثا إياه على أن يعود سريعا، لأن تليسكوب المائة بوصة كان جاهزا للعمل وكان هناك أبحاث كثيرة يلزم أداؤها. ولكن الرائد هابل (وكان يحب استخدام هذا اللقب حتى فى الحياة المدنية) لم ينضم أخيرا إلى هيئة العاملين بمونت ويلسون إلا فى ٣ سبتمبر ١٩١٩، وكان عندها قد تبقى له شهران فقط على عيد ميلاده الثلاثين.

صنع هابل أول شهرة له كعالم فلك بأن طور أفكارا من بحثه للدكتوراه، وخرج بخطة لتصنيف المجرات (سأستخدم هنا المصطلح الحديث وإن كان هابل قد فضل دائما كلمة «السدم»). وكان أحد إسهامات هابل المهمة المبكرة إدراكه لوجود أعداد هائلة من نوع آخر من الأجرام، تختلف عن السدم اللولبية، ويبدو أيضا أن من المستحيل تفسيرها بلغة من الظواهر المتضمنة في درب التبانة. وتعرف هذه الأجرام الآن بأنها مجرات إهليلجية. وتوجد أوجه إختلاف بين الاهليلجيات واللولبيات لا أهمية لها بالمرة بالنسبة لأغراض كتابنا هذا؛ وكل مايهمنا أنه قد تم التحقق في الوقت المناسب، من أن كلا من هذين النوعين من السدم يستحق بذاته أن يكون حقا من المجرات. ومن المعتقد الآن أن الاهليلجيات (التي يتراوح مظهرها ما بين الكروي إلى شكل العدسة المحدبة المسطحة، مثل المنظر الجانبي لكرة القدم الأمريكية)، تتشكل من عمليات إندماج بين اللولبيات، بما يفسر (بين أشياء أخرى)، السبب في أن أكبر المجرات المعروفة حجما مجرات إهليلجية. ولكن هابل لم يكن يعرف شيئا من ذلك في أوائل العشرينيات من القرن العشرين. واكتملت أساسا خطة التصنيف التي أنشأها في صيف ١٩٢٣، وإن كانت لم تنشر إلا في وقت متأخر عن ذلك.وفي هذه المرة كان هناك نموذج نظري مربوط بالخطة، وإن كان قد ثبت في النهاية أن النظرية كانت خطأ ـ ومع ذلك فإن الخطة أثبتت فائدتها.

كـانت فكرة هابل هـى أن توضع المجـرات فى تتـال علـى طول خط واحــد، إبتــداء بالمجــرات الكروية، ثم انتــقــالا من خــلال الإهليـجيـات ذات الشكل العدسى، حـتى الوصـول إلى اللولبيـات. وعند هذه النقطة يتفرع شكله التخطيطى الذى يمثل المجرات إلى فرعين كـالشوكة. وفى أحد الفرعين نجـد أن المجرات اللولبية التى تلتف التـفافا مـحكمـا تؤدى تدريجيا إلى لولبيات لفها فـضفاض بأكثر؛ ونجد على الفرع الآخر نفس الفضفضة فى البنيـة اللولبيـة، ولكن المجـرات اللولبيـة هنا فيـهـا عـلامـة من قضـيب قصـير من النجوم يمتد عبر مركز النموذج، مع التفاف الأذرع اللولبية للخارج من الطرفين المتقابلين للقضـيب. هذا الشكل التـخطيطى «المماثل للشوكـة الرنانة» كـان أصلا يدل على تتابـع فى التطور، حيث تبدأ المجرة كروية، ثم تصبح فى شكل أكثر أهليلجيـة كنتيجـة لدورانها، وينشأ عنـهـا بنيـة لولبيـة،مـعـهـا أو ليس مـعـهـا قـضـيب، مع حـدوث فضفضة فى النمط اللولبى بازدياد عمر المجرة. إلا أن هذه الفكرة (التى نشأت عن اقتراح للفلكى جيمس جينز) كـانت خطأ بالكامل؛ ولكن تصنيف هابل مـازال يسـتـخـدم كـوسيلة مـلائمـة لتصـنيف المجـرات، وتندرج كل المجـرات فى مكان مـا من هذا التـصنيف، فيما عدا عـدد قليل نسبيًا من منظومـات شكلها غير منتظم (مثل السحابتين الماجلانيتين).

بينما كان هابل يجمع أدلته التى تؤيد هذه الخطة للتصنيف، وهو يزداد خبرة فى استخدام تليسكوب المائة بوصة، استمر الجدل يضطرب حول طبيعة السدم. وكان هناك فلكى سويدى إسمه كنوت لوندمارك دافع عن فكرة «الجزر الكونية»، فى بحثه للدكتوراه فى ١٩٢٠، ثم زار فى ١٩٢١، و١٩٢٢ مرصد ليك وكذلك مرصد مونت ويلسون، وحصل على أطياف اللولبية المعروفة باسم إم ٣٣، وأقنع نفسه (وإن كان بالتأكيد لم يقنع شابلى)، بأن ذلك المظهر المبقع المحبب للسديم يعنى أنه حقا يتكون من عدد كبير من النجوم. وتم فى ١٩٢٢ تعيين وجود ثلاث نجوم متغيرة فى بقعة السماء التى تغطيها إم ٣٣، ولكن أرصاد هذه الأجرام الشاحبة جدا لم تكن جيدة بما يكفى لتعيين طبيعة هذه النجوم؛ وتم فى ١٩٢٣ العثور على إثنى عشر نجما متغيرا فى سديم آخر، هو إن جى سى ٦٨٢٢، ولكن الأرصاد كانت مرة أخرى ليست جيدة بما يكفى لتعيين طبيعة هذه النجوم فى التو (استغرق الأمر سنة من الأرصاد حتى تعين فى النهاية أن هذه النجوم قيفاوسية، وعندها لم يكن فى ذلك أى مفاجأة).

لم يكن البحث عن قيفاوسيات فى السدم يبدو جد واعد فى منتصف ١٩٢٣، عندما أكمل هابل عمله فى خطة التصنيف، أما ما كان يبدو واعدا بدرجة أكبر كثيرا، فهو توقع العثور على نجوم نوفا فى السديم، باستخدام تليسكوب المائة بوصة. فإذا أمكن تحديد وجود نجوم نوفا فى إم ٣١ تحديدا قاطعا، بما يثبت أن الجرم الذى رؤى فى ١٨٨٥ هو تفجر أكثرندرة وأكثر نصوعا، ستكون هذه طريقة جيدة لإثبات مسافة بعد السديم على وجه التقريب.

كـانت هذه الفكرة فى ذهن هابل حين بدأ دورة رصد أخرى بتليسكوب المائة بوصة فى خريف ١٩٢٣، وقد ركز على التقاط صور فوتوغرافية لأحد الأذرع اللولبية فى سديم أندروميدا، إم ٣١. كانت ظروف الرؤية سيئة فى الليل يوم ٤ أكتوبر، ولكن حتى مع هذ الظروف نتج عن تعرض اللوح للضوء لأربعين دقيقة ظهور نقطة لامعة يمكن أن تكون نجم نوفا. وفى الليلة التالية جرى تعريض اللوح للضوء لزمن أطول قليلا فأكد وجود النوفا، وبين وجود نقطتين أخريتين من الضوء ـ أى احتمال وجود نجمى نوفا آخرين. عاد هابل إلى مكتبه وأخذ يفتش فى الألواح الأسبق التى تظهر الجزء نفسه من إم ٣١، وعاد وراء لسنوات عديدة لينظر فى ألواح حصل عليها راصدون شتى مختلفون، بما فيهم هوماسون، كماكان منهم شابلى (الأمر الذى يثير السخرية). كانت هذه السلسلة من الألواح هى التى بينت بفحصها فحصا دقيقا، أن واحدا من نجمى «النوفا» الإضافيين اللذين اكتشفهما هابل فى ٥ أكتوبر، هو فى الحقيقة قيفاوسى متغير على زمن دورة تقل بالكاد عن ٣١,٥ يوم. أدخل هابل فى الحساب العلاقة بين زمن الدورة/ الضياء ومعايرة المسافة التى استخدمها شابلى نفسه فى مسحه لمجرة درب التبانة، وأعطاه هذا مباشرة مسافة بعد لسديم أندروميدا من ٣٠٠,٠٠٠ فرسخ ـ أى ما يقرب من مليون سنة ضوئية، وما يصل إلى ثلاثة أمثال ما أعتبر شابلى أنه مقياس للكون كله .وقد روجع بعدها تقدير المسافة إلى إم ٣١، وذلك فى

جزء منه بسب مشاكل المعايرة التى ذكرتها فيما سبق، وبهذه المراجعة زاد تقدير المسافة إلى حوالى ٧٠٠ كيلو فرسخ؛ على أن هابل قد أثبت، حتى مع ما كان من وجود خطأ فى المعايرة، أن هناك سديم لولبى واحد على الأقل هو حقا جرم يشابه فى حجمه مجرتنا، وهو على بعد يتجاوز كثيرا درب التبانة.

أدى تقدير هذه المسافة إلى أن يفسر أيضا السبب فى أن الراصدين مثل لوندمارك وجدوا كل هذه الصعوبة فى العثور على أدلة مقنعة لوجود نجوم مفردة فى إم ٣٣ والسدم اللولبية الأخرى. فكانت أصغر المعالم التى يمكن تعيينها على أفضل اللوحات الفوتوغرافية المتاحة للسماء فى ذلك الوقت تغطى زاوية فى السماء مقدارها نصف ثانية من القوس (بما يكون أصغر بأكثر من ٣٥٠٠ مرة من القياس الزاوى للقمر كما يرى من الأرض). على أننا سنجد أنه حتى هذه الزاوية الدقيقة الصغر ستكون وهى عند مسافة مليون سنة ضوئية المقابل لمنطقة من٢,٥ سنة ضوئية فى عرضها (أى ما يقرب من فرسخ) ـ وهذا يزيد عن نصف المسافة من الشمس إلى قنطورس ألفا. ومن الممكن أن تكون أى بقعة ناصعة ترى فى هذه الألواح الفوتوغرافية نجما منفردا، أو مجموعة نجوم، أو سحابة من غاز ساخن، طالما أن التكتل كله يشغل حجما قطره أقل من ٢,٥ سنة ضوئية. وكما سوف نرى، فإن هذا النوع من المشاكل سبب معاودة ظهور الصعوبات فى تقديرات مقياس المسافات إلى المجرات، وبالتالى تقديرات عمر الكون.

كان إقناع شابلى بالأمر يتطلب بالطبع أكثر من قيفاوسى واحد. وقد وجدها هابل أثناء شهور شتاء ١٩٢٣ ـ ١٩٢٤ تسعة نجوم نوفا وقيفاوسى آخرفى إم ٣١، كلها تؤدى إلى الاستنتاج نفسه. ثم وجد فى ١٩٢٤ تسعة نجوم قيفاوسية فى سديم آخرهو إن جى سى ٦٨٢٢، وخمسة عشر فى السديم اللولبى إم ٣٣، وغير ذلك فى سدم أخرى.وهكذا فإنه حتى شابلى نفسه كان عليه الآن أن يقر بالهزيمة، وكان هذا الكيان من الأبحاث هو ما شكل الأساس لورقة بحث قدمت فى الإجتماع المشترك للجمعية الفلكية الأمريكية والجمعية الأمريكية لتقدم العلم فى ١ يناير ١٩٢٥ (لم يكن هابل موجودا فى الاجتماع، وقرئت ورقة البحث فى الاجتماع نيابة عنه بواسطة هنرى نوريس راسل) . كان الرأى فى الاجتماع هو أن مسألة طبيعة هذه السدم قد حلت فى النهاية، وأن الكون يمتد بعيدا وراء حدود درب التبانة.

تأكدت مكانة هابل فى كتب التاريخ، حتى لو كان سيكف عن ممارسة علم الفلك تو هذا الوقت، إلا أنه كان لايزال هناك لغز آخر يضغط ملحا فيما يتعلق بطبيعة السدم، لغز كان يصرخ مطالبا بدراسات دقيقة تستخدم أفضل تليسكوب على الأرض، تليسكوب المائة بوصة. كان هذا اللغز يتنامى طيلة ما يزيد عن اثنى عشر عام، منذ كان هابل طالبا فى منحة رودس بأوكسفورد، حيث كان لايعرف شيئا عن الأبحاث التى تجرى فى المراصد العظمى بالولايات المتحدة.

قانون هابل

كون له بداية

العلم كما ذكرنا لا يتقدم بأسلوب سلس فى خط ممتد حيث تتوالى الاكتشافات أحدها بعد الآخر ليتخذ كل منها موضعا. وحتى نصل إلى استيعاب ما فعله هابل (وهو ماسون) فيما سيلى، علينا أن نعود وراء لما سبق ١٩٢٥ بأكثر من اثنتى عشرة سنة، إلى الاكتشاف الذى توصل له فيستو سليفر، لما بدا أنه إزاحات دوبلر هائلة للضوء الآتى من الكثير من السدم.

ويأتى المريخ مرة أخرى إلى قصتنا، وإن كان هذه المرة يكاد يمسها مسا رفيقا (دعنا نتذكر أن معرفتنا بالمسافات عبر المنظومة الشمسية، والتى عرفنا بها الوحدة الفلكية وبالتالى الفرسخ، كانت قد بدأت بقياس المسافة إلى المريخ). ثارت فى أواخر القرن التاسع عشر موجة اهتمام بكوكب المريخ بين الفلكيين الأمريكيين والجماهير، قدح زنادها أساسا أبحاث الإيطالى جيوفانى

سكياباريللى. وكان قد رصدو وصف معالم على سطح المريخ سماها "Canelli"، بمعنى (أخاديدChannels). وأسيئت ترجمة الكلمة للإنجليزية فترجمت إلى «قنوات» (canals)، وأشعل ذلك موجة اهتمام باحتمال وجود حياة ذكية فوق المريخ. وكان فى ذلك، مع أشياء أخرى، ما ألهم هـ. ج. ويلز (*) أن يكتب رواية «حرب العوالم»، التى نشرت لأول مرة فى ١٨٩٨.

كان برسيفال لويل رجل أعمال أمريكى ثرى (أتت ثروة أسرته من القطن) اهتم طول حياته بعلم الفلك، وافتتن بهذه الفكرة كل الافتتان حتى أنه فى ١٨٩٤ وهو فى الثامنة والثلاثين من عمره، قرر إنشاء مرصد خاص له فى فلاجستاف بولاية أريزونا (موقع ممتاز يرتفع فوق سطح البحر بما يزيد عن ٢٠٠٠ متر). كان هدفه الأساسى أن يثبت وجود حياة فوق المريخ، ومع أن المرصد أجريت فيه بالفعل أبحاث أخرى، إلا أن هذا الأمر بقى له أكبر تأثير فيما كان يجرى فى المرصد حتى وفاة لويل فى ١٩١٦. على أن لويل بنى على هذا النحو مرصدا من الدرجة الأولى، مجهزا بتليسكوبات ممتازة، كما أنه فعل الكثير لجعل علم الفلك شائعا جماهيريا. وقد بقى مرصد لويل للآن كمركز مهم للأبحاث.

امتد اهتمام لويل بالمريخ ليشمل الكواكب الأخرى فى المنظومة الشمسية، ولغز الطريقة التى تتكون بها أول كل شىء هذه المنظومات الكوكبية. وكان أحد التفسيرات المحتملة عن السدم

(*) هربرت جورج ويلز (١٨٧٧ ـ ١٩٤٦) كاتب وروائى انجليزى خاصة فى روايات الخيال العلمى. (المترجم).

اللولبية فى بداية القرن العشرين، هو أنها سحب من الغاز والغبار تدور فى دوامة، داخل منظومة درب التبانة، ثم تستقر كل منها لتشكل نجما مركزيا تحيط به الكواكب. وبالتالى، فقد اهتم لويل بالطبع بالسدم اللولبية، وعهد إلى واحد من أفراد فريقه الصغير من الفلكيين، وهو فيستو سليفر، بمهمة بحث أمر اللولبيات على أمل أنها قد تمد بمفاتيح للغز تشكيل المجموعة الشمسية.

ولد سليفر فى ١٨٧٥ وتخرج من جامعة إنديانا فى ١٩٠١، وانضم إلى هيئة العاملين بمرصد لويل فى نفس السنة. وأدت بعض أبحاثه المبكرة هناك إلى حصوله على درجة دكتوراه الفلسفة (وكانت أيضا من جامعة إنديانا) فى ١٩٠٩، وعندما مات لويل اضطلع سليفر بإدارة المرصد، حيث ظل مديرا له حتى اعتزل فى ١٩٥٢ ، وقد أجرى بحثه على السدم اللولبية عند زمن يعد على نحو مباشر حدا فاصلا للأبحاث وذلك فى بداية العقد الثانى من القرن العشرين، بما يعتبر مماثلا وقتها لما يحدث الآن من إنشاء الجديد من التليسكوبات والكشافات الإلكترونية للضوء (أجهزة الشحن المقرون). استخدم سليفر تليسكوبا جيدا جدا يعمل بالانكسار وقطره ٢٤ بوصة (٦١ سم)، (عموما يكون تليسكوب الإنكسار أقوى من التليسكوب العاكس الذى له نفس القطر)، كما استخدم نوعا جديدا من الكشافات مكنه من أن يقيس مواضع الخطوط فى الأطياف على الأقل فى السدم اللولبية الأكثر نصوعا. وكان سليفر أيضاً راصدا بارعا وصبورا إلى حد هائل.

يجدر بنا هنا أن نؤكد على مدى صعوبة هذا البحث حقا. كان عمر التصوير الفوتوغرافي الفلكي عقود معدودة لاغير؛ أما الدراسات الطيفية الفلكية فيرجع تاريخها فقط إلى نهاية خمسينيات القرن التاسع عشر. وكان الجمع بين الاثنين يطرح صعوبات إضافية. وإحدى مشاكل دراسات الطيف الفلكية هي أنها تتطلب نشر الضوء الآتي من أحد الأجرام لصنع الطيف، واستخدام هذا لدراسة خطوط الطيف. إلا أن الأجرام الفلكية أول كل شيء أجرام شاحبة، وعندما ننشر الضوء الآتي منها بهذه الطريقة (بأن نستخدم مثلا منشورا زجاجيا) فإنه يكون أشد شحوبا - وكثيرا ما يكون أشحب من أن يشكل صورة قابلة لأن تستخدم على نوع الألواح الفوتوغرافية التي كانت متاحة في الأيام المبكرة لهذا النوع من البحث. وبالتالي، فإن أول الأطياف الفلكية التي حصلنا عليها كانت بالطبع من الشمس والنجوم الأكثر نصوعا (أنجز أول قياس دوبلر لسرعة أحد النجوم في ١٨٦٨، على يد ويليام هجنز).

وحتى نضع الأمور في منظورها الصحيح، فإن الاكتشاف الخارق لوجود الهيليوم على الشمس بواسطةدراسات الطيف تم فقط في ١٨٦٨، قبل ولادة سليفر بسبع سنوات لاغير، ولم يتم تعيين وجود الهيليوم فوق الأرض إلا في ١٨٩٥، بما أكد نهائيا على ما لدراسات الطيفية الفلكية من قدرة. وحصل إدوارد فاث بالفعل على أول أطياف انبعاث من السدم اللولبية، وكان طالبا بعد التخرج في مرصد ليك، وقام بتصوير أطياف سبع لولبيات فوتوغرافيا وقدم

هذه البيانات فى بحثه للدكتوراه فى ١٩٠٩ . وقد وفر لنا فاث ما يبدو الآن أنه دليل مقنع على أن اللولبيات تتكون جزئيا على الأقل من نجوم، ولا يمكن أن تكون مجرد سحب غاز، ويتوفر دليل فاث من مقارنة أطيافه بأطياف النجوم ـ وهو فى اختبار بارع لفكرته تعمد أن يجعل بؤرة تليسكوبه (عاكس من ٣٦ بوصة [٩١ سم]) فى وضع غير مضبوط هونا، ليحصل على صور مضببة لثلاث عنقوديات كروية، ينتج عنها أطياف مماثلة لما حصل عليه من لولبياته السبع. إلا أن البحث كان له تأثير قليل، وتم تجاهله وقتها إلى حد كبير (ربما لأنه أتى «فحسب» على يد طالب بعد التخرج وليس على يد فلكى له اسمه الكبير).

لاشك أن سليفر قد استفاد لأقصى حد من هذه التكنولوجيا فى ١٩١٢ عندما تمكن من الحصول على صور فوتوغرافية لأطياف (رسوم طيف) لسديم أندروميدا، تبين بوضوح خطوطا فى طيف الضوء الآتى من السديم. على أنه ما إن فعل ذلك، حتى أمكن على نحو مباشر تعيين ما يوجد من خطوط فى الطيف تقابل العناصر المعروفة (وهى خطوة كان يمكن فيما نتصور أن ينفذها فاث، لو كان فلكيا أكثر خبرة)، وكذلك قياس مواضعها المضبوطة فى الطيف. كانت النتيجة المدهشة لهذه القياسات هى اكتشاف أن الخطوط مزاحة إزاحة لها قدرها تجاه الطرف الأزرق من الطيف، بما يدل (حسب ظاهرة دوبلر) على أن سديم أندروميدا يندفع تجاهنا بسرعة حوالى ٣٠٠ كيلو متر فى الثانية. وكان هذا يتجاوز كثيرا أقصى ماقيس وقتها لسرعة دوبلر لأحد الأجرام الفلكية.

سبب هذا الاكتشاف ذهولا، وبلبلة غير قليلة. وتشكك أفراد كثيرون في الأمر، حتى تمكن سليفر من الحصول على أطياف تبين ما بدا أنه ظواهر دوبلر كبيرة السرعة للولبيات أخرى، وبدأ علماء فلك آخرون يؤكدون قياساته. ويمكننا أن ندرك بعض فكرة عن هذه البلبلة من أحد الاقتراحات التى طرحها سليفر وقتها - وهو أن السرعة الكبيرة لسديم أندروميدا ربما تفسر «نوفا» عام ١٨٨٥، إذا كان السديم سحابة غاز، تندفع مسرعة خلال درب التبانة، وقد ابتلعت نجما يقبع فى طريقها وسببت انفجاره. بينت الأطياف الأولى القليلة التى حصل عليها سليفر وجود مزيج من إزاحات زرقاء لبعض الأجرام (بما يطرح أن تلك السدم تتحرك تجاهنا) وإزاحات حمراء لأجرام أخرى (بما يطرح أنها تتحرك بعيدا)، الأمر الذى سبب بلبلة أكبر - وبدا أول الأمر وكأن السدم تندفع عنيفا فى اتجاهات عشوائية فيما حولها خلال الفضاء، وبعضها له سرعات أعظم حتى من سديم أندروميدا.

بحلول ١٩١٤ كان سليفر قد قاس «سرعات» خمس عشرة لولبية، بما فى ذلك اثنتان لهما إزاحة حمراء تقابل سرعات ارتداد أكبر من ١٠٠٠ كيلومتر فى الثانية. إلا أن اثنين فقط من القياسات الخمسة عشر بينت إزاحة زرقاء. وهكذا أصبح النمط راسخا - فالإزاحات الزرقاء هى الاستثناء؛ والإزاحات الحمراء هى الشائعة. (وقبل أن يمر زمن طويل أحيلت الإزاحات الزرقاء إلى أسباب لها مغزى آخر؛ فقد ثبت فى النهاية أن الشمس والمنظومة الشمسية

يتحركان خلال الفضاء، فى مدارهما حول مركز درب التبانة، بسرعة حوالى ٢٥٠ كيلو متر فى الثانية، ويكادان يتحركان بالضبط فى اتجاه سديم أندروميدا. وكل الإزاحة الزرقاء للضوء الآتى من سديم أندروميدا، فيما عدا ٥٠ كيلو متر فى الثانية، تنتج عن حركتنا المتجهة للسديم، وليس عن حركة السديم خلال الفضاء متجها إلينا).

بحلول سنة ١٩١٧، كان سليفر قد زاد من عدد ما قاسه من الإزاحات الحمراء للولبيات إلى ثلاث وعشرين، ولكن الإزاحات الزرقاء ظلت لاتزيد عن اثنتين، وبحلول ١٩٢٥، كان هناك تسع وثلاثون أزاحة حمراء وإزاحتان زرقاوتان. وأثناء كل هذا الوقت، كان علماء فلك آخرون قد قاسوا فحسب عشر إزاحات حمراء سديمية فى منظومات لم يكن سليفر قد درسها أولا - أى أن سليفر قاس عدد إزاحات حمراء يبلغ أربعة أمثال ما قاسه كل الآخرون معا. على أن هذا كان أقصى ما استطاع سليفر أداءه. وكان وقتها يقيس أشحب الأطياف التى يمكن تحليلها بهذه الطريقة مستخدما تليسكوبا انكساريا من ٢٤ بوصة هو ومطيافه (راسم الطيف) فى مرصد لويل. كان الوقت قد حان ليتولى شخص آخر مهمة التحدى للوصول إلى ما هو أعمق فى الكون، وتحليل الضوء الذى يأتى حتى من سدم أشحب. وكان من الطبيعى أن مهمة التحدى هذه ينبغى أن يقوم بها هابل وهوماسون، اللذان يعملان على أفضل تليسكوب فى العالم. إلا أنه ليس مما يدرك دائما أن اكتشاف

العلاقة الشهيرة بين الإزاحة الحمراء والمسافة لم تكن أمرا طرأ عليهما كصاعقة على نحو غير متوقع. كان المنظرون قد طرحوا من قبل أنه ربما تكون هناك بعض صلة من هذا النوع، وكان هابل ينشد بنشاط اختبار هذه النظريات باشتراكه فى العمل مع هوماسون بدءا من منتصف عشرينيات القرن العشرين وماتلاها.

دعنا نتذكر أن أبحاث سليفر على الإزاحات الحمراء كانت قد انتهت أساسا فى وقت يسبق مباشرة الوقت الذى بدأ فيه هابل قياس المسافات إلى اللولبيات . ولم يكن هناك بعد اتفاق عام حول طبيعة هذه الأجرام، ولكن الإزاحات الحمراء الكبيرة جدا التى قاسها سليفر كانت تطرح بالفعل أنها لا يمكن أن تكون جزءا من درب التبانة نفسها ـ وأيا ما كان حجم وتركيب هذه الأجرام، فهى ببساطة تتحرك حركة أسرع جدا من أن تكون فى قبضة جاذبية درب التبانة. واستخدمت كل أنواع التخمينات لتفسير هذه الظاهرة. هل يمكن أن تكون السدم سحبا صغيرة نسبيا من المادة دفعت بواسطة عملية ما بعيدا عن درب التبانة، ربما حتى بواسطة ضغط الضوء من كل نجوم درب التبانة (وهذا رأى يائس، وإن كان اقتراحا طرح وقتها بجدية) ؟ هل يمكن أن تكون السدم بعض نوع من حطام فى الكون، أجرام صغيرة تسبح فيما حولها فى الفضاء وقد بعثرها ودفعها جانبا مرور درب التبانة عبرها، وكأنها زوارق صغيرة أخذت تهتز مرتجة فى المحيط نتيجة مرور عابرة محيطات ضخمة؟ كان بعض علماء الفلك، بما فيهم هيرتزبرونج

لايشكون أدنى شك فى أن هذه السرعات الكبيرة وماتدل عليه من أن السدم ليست جزءا من درب التبانة، هذا كله يضفى أهمية على فكرة أن السدم هى كما يجدر بها بذاتها منظومات مثل درب التبانة ـ إلا أنه كان هناك دائما مشكلة إيجاد تفسير يستبعد قياسات فان مانن للدوران . وهكذا كانت هناك خلفية من أرصاد جديدة بعضها يناقض البعض الآخر، وكان أن نشأت إزاء هذه الخلفية النظريات (أو على وجه الدقة النظرية الواحدة ذات الأشكال المختلفة) التى تشير إلى إمكان تمدد الكون. ولم يكن مما يفيد كثيرا أن علماء الرياضة والفيزياء النظرية الذين أنشأوا هذه الأفكار أولا لم يكونوا دائما على اتصال وثيق بالعاملين بالأرصاد، ولم يدركوا فى أول الأمر أن المعادلات التى يلهون بها قد يكون لها تطبيقات فى العالم الواقعى.

بدأ الأمر كله فى ١٩١٦ عندما نشر أينشتين نظريته عن النسبية العامة. والنظرية العامة نظرية عن المكان والزمان والمادة. ويمكن فهم الطريقة التى توصّف بها النظرية المكان والزمان بلغة من هندسة ذات أربعة أبعاد، تصف المكان ـ الزمان (الزمكان)، ولسنا بحاجة هنا إلى إلى ندخل فى أى من التفاصيل الرياضية لندرك قوة هذا التناول كتوصيف للكون. والزمكان فى النظرية العامة كيان متصل ولكنه مرن، ويمكن مطه وتشويهه على وجه الخصوص بواسطة وجود المادة. والتمثيل المعتاد لذلك هو أن نضع

مكان الزمكان ذى الأبعاد الأربعة بساطا ممدودا من المطاط، مثل الترامبولين (*)، له فقط البعدان المألوفان. والأجرام فى الزمكان المسطح (بساط الترامبولين المسطح) تتحرك فى خطوط مستقيمة، إلا إذا أثرت قوة ما بمفعولها فى هذه الأجرام. وكمثل فإن البلية الزجاجية التى تتدحرج عبر الترامبولين تظل تتحرك فى خط مستقيم. إلا أنه عند وجود كتلة كبيرة سيحدث انحناء فى الزمكان. ولو وضعنا شيئا ثقيل الوزن فوق الترامبولين سيصنع انبعاجا. وعندها، فإن الأجرام التى تنتقل عبر خط أقل مقاومة فى الزمكان سوف تتبع مسارات منحنية قرب الجرم الثقيل (البلية الزجاجية التى تدحرج حول الانبعاج فى الترامبولين ستتبع مسارا منحنيا). والطريقة التى تتأثر بها المسارات بهذا الانحناء فى الزمكان تماثل الطريقة التى تتأثر بها المسارات بقوة الجاذبية حسب الصورة القديمة لطريقة عمل الكون، وذلك بأن نضع مكان فكرة قوة الجاذبية فكرة الزمكان المنحنى. والجاذبية تنتج بالكامل عن تشوهات فى الزمان يسببها وجود المادة.

تنبأت النظرية العامة بتشوهات تتضمن، بين أشياء أخرى، أن الضوء الآتى من نجوم بعيدة، عندما يمر بالقرب من الشمس ينبغى أن ينحرف بقدر معين. وعادة يكون من المستحيل إجراء اختبار لذلك، لأن الضوء الآتى من نجوم بعيدة يضيع تماما فى وهج الشمس نهارا. على أنه حدث فى ١٩١٩ كسوف كلى للشمس، أجريت أثناءه قياسات دقيقة للمواضع الظاهرية للنجوم فى السماء

(*) البساط المطاط الذى يتقافز عليه اللاعبون، أو يوضع أسفل لاعبى السيرك لحمايتهم عند سقوطهم من علو. (المترجم).

بطول خطوط الرؤية التى تمر بالقرب من الشمس المحجوبة. وقام بالقياسات فريق رأسه أرثر إدنجتون، ووجد أنها تتفق بالضبط مع تنبؤات نظرية أينشتين، وكان هذا هو السبب الرئيسى فى تقبل النظرية بهذه السرعة البالغة، على الأقل بواسطة علماء الفيزياء الرياضية، على الرغم من تنبؤاتها الغريبة (كان بعض الراصدين أكثر ممانعة فى تقبل النظرية العامة، كما سوف نرى). وقد اختبرت النظرية منذ ذلك الوقت مرات كثيرة بطرائق كثيرة، واجتازت كل اختبار بنجاح. ونحن نعرف الآن أن نظرية النسبية العامة هى توصيف جيد للكون.

وهذه نقطة رئيسية. تبين أينشتين منذ البداية أن نظريته توصف الكون كله - كل المكان والزمان، والطريقة التى يتأثر بها الكون بكل المادة الموجودة فيه. وماإن اكتملت النظرية العامة حتى طبقها أينشتين فى مشكلة العثور على مجموعة من المعادلات التى يمكن أن توصف الكون ككل. ونشر أول ثمار هذه الجهود فى ١٩١٧، أى بعد أقل من عام من نشر النظرية العامة نفسها. ولكنه كما اتضح له من ورقة البحث هذه، وجد أن ثمة شيئا شاذا جديدا بشأن الطريقة التى توصف بها النظرية العامة الزمكان ككل.

وكما يكشف لنا التمثيل بالترامبولين، فإن النظرية العامة تتيح (أو الأحرى أنها «تتطلب») أن يمتط الزمكان ويتشوه بفعل وجود المادة. والمكان، كجزء من الزمكان يتأثر هو نفسه على هذا النحو.

ووجد أينشتين في ١٩١٧، أن معادلات النظرية العامة تدل بإصرار على أن المكان لا يمكن أن يكون استاتيكيا بصورة عامة - فهو يجب أن يكون إما متمددا (وكأن الترامبولين كله يمتط في كل الاتجاهات) أو أن يكون متقلصا (وكأن الترامبولين ينكمش)، ولكنه لا يمكن أن يظل ثابتا. وهذا التمدد (أو التقلص) في المكان سيحمل المادة معه، ليظهر أمره، حسبما يعتقد أينشتين، في حركات النجوم. وكان في هذا معضلة محرجة، ذلك أنه مع أن سليفر كان وقتها قد نشر أبحاثه المبكرة عن الإزاحات الحمراء، إلا أن أينشتين لم يكن على علم بها، وعلى أي حال فقد كانت المعرفة المتواترة هي أن درب التبانة إما أن تكون كل الكون أو أنها على الأقل المكون الغالب للكون، وأن درب التبانة بكل تأكيد لا تتمدد ولا تتقلص. كان حل أينشتين لهذه المعضلة هو أن أدخل حدا جديدا إلى معادلاته يرمز له بالحرف الأغريقي لامبدا، وذلك حتى يلغي هذه الحركة غير المطلوبة، ويبقى نموذج كونه ثابتا. وكما قال أينشتين نفسه «هذا الحد ضروري فحسب بهدف أن يجعل في الإمكان توزيع المادة توزيعا شبه ثابت، الأمر الذي تتطلبه حقيقة السرعات الصغيرة للنجوم». وبالتالي، فإنه بفضل حد لامبدا (الذي يعرف أحيانا بالثابت الكوني) أصبح نموذج الكون الذي نشره في ١٩١٧ يوصّف رياضيا بالفعل مكانا يبقى بالحجم نفسه، من غير أن يتمدد أو أن يتقلص.

إلا أنه حدث فى التو تقريبا أن وجد عالم الفلك الهولندى وليم دى سيتر حلا آخر لمعادلات النظرية العامة، يوصّف أيضا كونا كـامـلا ـ ولكنه نوع من الكون يخـتلف عن الذى وصـفـه أينشتين.وجد دى سيتر نموذجا يصف كونا خاويا بالكامل بلا مادة على الإطلاق. ويبقى زمكان هذا الكون الخاوى ثابتا بنفسه فحسب بدون أى حاجة إلى حد لامبدا. ولكن إذا أضيفت أى مادة بأى حال إلى نموذج الكون (حتى ولو حبات رمل معدودة) فإنه سيأخذ فى التمدد تمددا شديداً. والحقيقة أنه سيتمدد بسرعة تتزايد أسّيا. وتعنى كلمة أسيا فى هذا السياق أن نضرب الأرقام المتعلقة بالأمر «بالقوة» أو الأس الملائم، بحيث أن ٢ ^{٢} ـ تصبح ٢ × ٢، و ٤ ^{٢} تصبح ٤×٤، وهلم جرا. وكمثل، عندما يكون الأس اللازم هو حقا ٢، فإن هذا يعنى أن الجرم البعيد عنا بمثلين يتحرك مبتعدا بسرعة ليست مثلين لسرعة الجرم الأقرب منا وإنما بأربعة أمثال هذه السرعة (٢ ^{٢} مثل)، بينما يرتدالجرم البعيد عنا مسافة من أربعة أمثال ارتدادا سرعته ستة عشر مثلا (٤ ^{٢} مثل)، وهلم جرا.

هكذا فإنه فى زمن مبكر يرجع إلى ١٩١٧، تنبأ بالفعل هذا النموذج لدى سيتر بوجود إزاحة حمراء فى الضوء الآتى من الأجرام البعيدة ـ ولكن هذه الإزاحة الحمواء فى النموذج تفسّر على أنها تنتج عن تغير فى خصائص الزمكان من مكان للآخر فى الكون الأمر الذى يجعل الساعات البعيدة تدور دورانا أبطأ، والذرات البعيدة تشع ضوءا على نحو أكثر تمهلا، بصرف النظر

عن حركتها. على أن النموذج كان يتنبأ بالفعل بأن الأجرام الأكثر بعدا ينبغي أن تظهر إزاحات حمراء أكبر، وكانت هذه أول مرة يدخل فيها إلى علم الفلك فكرة وجود علاقة بين الإزاحة الحمراء ـ المسافة. لم يسمع دى سيتر إلا فى ١٩١٧ (حيث كانت أوروبا ممزقة بالحرب) عن أول ثلاثة قياسات «لدوبلر» قام بها سليفر، وكان أحدها هو الإزاحة الزرقاء الهائلة لسديم أندروميدا، وبالتالى لم يكن واضحا إن كان لنموذجه تأثير فى العالم الواقعى. وعندما أصبحت أول خمسة وعشرين قياسا من قياسات سليفر متاحة فى أوائل عشرينيات القرن العشرين (ومعظمها ازاحات حمراء)، لم يزعم حتى دى سيتر نفسه أن هذا فيه دليل يؤيد ذلك النموذج، لأن أحدا لم يكن يعرف مسافة بعد اللولبيات التى درسها سليفر، ومن غير هذه المسافات كيف سنتمكن من قياس علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة؟

على أنه حتى فى النصف الأول من عشرينيات القرن العشرين، تم اجراء محاولات عديدة لربط أرصاد الإزاحات الحمراء فى اللولبيات مع فكرة ما نسميه الآن بالكون المتمدد. أتت معظم هذه المحاولات من علماء الفيزياء الرياضية، الذين اهتموا باستنباط حلول لمعادلات نظرية النسبية العامة. أما موقف الكثيرين من العاملين فى الرصد، فيدل عليه تعليق جورج إيلرى هيل فى ١٩٢٠ إذ يقول «إن تعقيدات نظرية النسبية هى بكل معنى أكثر مما ينبغى لإدراكى. ولو كنت رياضيا جيدا لربما أصبح لدى

بعض أمل فى تشكيل بعض مفهوم واهن عن المبدأ، إلا أن الأمرفيما أخشى سيظل دائما يتجاوز ما استوعبه». على أنه كان يبدو أيضا أن علماء الرياضة كان لديهم مايكاد يماثل ذلك من إيمان فعال بأن معطيات الرصد لها قيمة محدودة. فكانت أبحاثهم تتأسس على أدنى قدر من الأرصاد ـ أى الإزاحات الحمراء المعدودة التى قاسها سليفر، والتقديرات المبهمة للمسافة التى تتراوح من أرصاد النوفات حتى التخمينات المعقولة بأن اللولبيات الأكثر بعدا قد تكن أشحب من اللولبيات القريبة، وتبدو أصغر فى السماء. تمكن الرياضى البولندى لودفيك سليبر شتين باستخدام هذه الطرائق التقريبية من أن يزعم فى ١٩٢٤ (وكان مقر عمله وقتها فى إنجلترا) التوصل إلى أدلة تؤيد وجود علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة، وشجع هذا عالم الفلك السويدى كنوت لوند مارك (الذى سبق أن رأينا أنه نصير قديم لفكرة أن اللولبيات هى مجرات حسب ما يجدر بها بذاتها) شجعه على أن يجرى تحليلا أكثر أمانة (كان سيلبرشتين ينحو إلى أن يهمل أى أرصاد لاتتفق مع نموذجه) واستنتج لوندمارك فى ١٩٢٥ أنه قد يكون هناك وجود لعلاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة، ولكنها «ليست علاقة محددة جدا».

ولعل هذا كان أكثر تقييم أمين ومضبوط للموقف فى منتصف عشرينيات القرن العشرين فى حوالى الوقت الذى أثبت فيه هابل مسافة بعد سديم أندروميدا ولولبيات أخرى معدودة. كانت هناك

محاولات أخرى لحل لغز علاقة الإزاحة الحمراء ــ المسافة فى منتصف عشرينيات القرن العشرين، إلا أن أيا منها لم تؤد إلى أى استنتجات حاسمة ومقنعة. وكان أحد المبرزين فى هذا المجال عالم الفلك الألمانى كارل فيرتز، وقد وجد فى ١٩٢٤ ما سماه هابل نفسه فيما بعد (فى كتابه «عالم السدم») بأنه «علاقة ارتباط معقولة... فتنحو السرعات إلى التزايد عندما تتناقص أبعاد القطر». ولكن هابل يواصل قائلا، «إلا أن النتائج كانت موحية بدلا من أن تكون مؤكدة». ولسنا بحاجة هنا للدخول فى كل التفاصيل، ولكننى أود بالفعل أن أجعل من الواضح أن فكرة وجود علاقة الإزاحة الحمراء ــ المسافة كانت تحوم فى الجو قبل أن يبدأ هابل وهو ماسون بحثهما الملحمى لاستقصاء هذه العلاقة، وأن أسطورة أنهما قد اكتشفا على نحو «غير متوقع» العلاقة بين الإزاحات الحمراء والمسافات هى فحسب ماهى عليه ــ مجرد أسطورة. وكما سوف نرى، فإن أهمية بحثهما هو أنه قد أزال كل الغموض، وكل المصطلحات الملطفة مثل «معقول»و «ينحو»، ووضع الفكرة كلها فوق أساس محكم متين. إلا أنهما كانا فى الحقيقة، هما وكل علماء الفلك تقريبا يجهلون تماما وقتها بحثين كانا قد نشرا فى عشرينيات القرن العشرين، وهما بحثان لو كانا معروفين على نطاق أوسع لوضعا اكتشافات هابل وهو ماسون فى السياق على نحو أوضح منذ البداية.

أحد أعظم الأسرار فى تاريخ العلم فى القرن العشرين هو لماذا حـدث أن بحث الكونيـات الذى قـام به عـالم الرياضـة الروسى الكسندر فريدمان لم يكن له تقريبا أى تأثير فى علم الفلك عندما نشر فى ١٩٢٢. نشرت ورقة بحث فريدمان الجوهرية فى مجلة علميـة من أوسع المجـلات انتـشارا وأكـثرها مكانة (وهى المجلة الألمانيـة «زيتشـريفت فـورفيـزيك» بل إنهـا انتزعت اسـتجـابة من أينشتين، الذى اعتقد أنه قد اكتشف خطأ فى حساباتها ولكنه أقر فيما بعد بأنه هو الذى كان مخطئا وأن فريدمان كان مصيبا. ولكن المشكلة كانت فى أن فريدمان قدم حلوله لمعادلات نظرية النسبية العامـة على أنهـا طرائف ريـاضـيـة، بدلا من أن يطرح أنهـا ربما يكون لها تأثير فى الكون الفيزيقى الواقعى. أما بالنسبة لأينشتين فلم تكن ورقة البحث هذه إلا مصدر إزعاج له، لأنها كما يبدو تهدم ببساطة نسخته الخاصة من علم كونيات النظرية النسبية.

كـان أينشـتين يحـاول فى بحـثه الخـاص به فى ١٩١٧ أن يجـد نمودجا «فريدا»، النموذج الوحيد الذى تتيحه النظرية العامة، وأن يقارن هذا بعدها بالعالم الواقعى. إلا أن هذا ما كان يمكن أن يوجد، كما سبق أن لمح لنا بحث دى سيتر. فهناك أكثر من طريقة لتفسير معادلات النظرية العامة. وينظر الآن لهذا على أنه أمرطيب، وأنه مـثل لثـراء النظرية العـامـة؛ أمـا بالنسـبـة لأينشـتين فـى أوائل عشرينيات القرن العشرين، فقد بدا له أن هذا أمر سىء، لأنه كان يأمل أن تكن نظريته متلائمة على نحو فريد مع العالم الواقعى،

لتخبرنا أن كونا لايمكن أن يوجد إلا على مثال كوننا. على أنه سواء كان الأمر طيبا أم سيئا، فقد كان فريدمان هو أول من وضح الطريقة التى تؤدى بها معادلات أينشتين إلى نشأة عائلة بأكملها من الحلول - عائلة من النماذج الكونية، أو الأكوان المختلفة - التى توصِّف طرائق ممكنة مختلفة يمكن أن يسلك بها الزمكان. ويتمدد الكون فى بعض هذه النماذج إلى الأبد إذ يمتط المكان. والكون فى تنويعات أخرى على اللحن، يتمدد حتى حجم معين، ثم يتقلص، منكمشا إلى نقطة، حيث قد «يرتد» إلى دورة أخرى من التمدد ثم التقلص. وأمكن لفريدمان بإدخال ثابت كونى، مثلما فعل أينشتين تماما، أن ينتج نماذج تبقى للأبد فى نفس الحجم.

كان فريدمان بأحد المعانى قد أعطى علماء الفلك جرعة أكبر مما يَنبغى فى زمن أسرع مما ينبغى. وهو لم يتنبأ بكون متمدد فريد، يمكن عندها مقارنته بأرصاد الكون الواقعى، إنما طرح ثروة من الخيارات، بدا وكأن فيها كل الأشياء لكل علماء الفلك. ولابد وأنه قد بدا للقلة من الفلكيين الذين لفت نظرهم هذا البحث أنه يمكن للواحد منهم أن يجعل أيا من الأرصاد ملائما لأحد نماذج فريدمان، بحيث بدا أن ليس هناك أى ميزة كبيرة فى هذا التمرين. وإضافة لذلك، فقد مات فريدمان فى ١٩٢٥، ولم يعد موجودا ليدافع عن أفكاره. ولكن هذه لم تكن نهاية القصة.

تم فى النصف الثانى من عشرينيات القرن العشرين إعادة اكتشاف كل نتائج فريدمان حيث اكتشفها على نحو مستقل عالم الفلك البليجيكى جورج ليميتر (وهو يجهل بالكامل بحث فريدمان)، وكان ليمتير كثير الأسفار فى أوروبا والولايات المتحدة (لم يتمكن فريدمان قط من مغادرة الاتحاد السوفيتى)، وليتمير بخلاف فريدمان، كان يهتم اهتماماً جدياً بإيجاد علاقة بين المعادلات الرياضية والكون الواقعى. ومع ذلك، فإن نتائجه هذه ظلت طيلة سنين وهى مثل نتائج فريدمان لايشيد بها أحد، الأمر الذى يثير إذن على نحو ما دهشة أكبر. على أن ليميتر اختار نشر أعظم أبحاثه فى مجلة بلجيكية مغمورة، وظل لزمن طويل وهو لايعمل على ترويج الأفكار التى وصفها فى ورقة بحثه أثناء زياراته لأناس مثل إدنجتون وسليفر، بل وهابل.

كان ليميتر عالم فلك آخر ممن أدت الحرب العالمية الأولى إلى تعطيل فى حياته ومستقبله المهنى، وإن كان هذا قد حدث له على نحو أعنف كثيرا مما حدث لهابل. ولد ليميتر فى ١٨٩٤، وكان يدرس الهندسة فى جامعة كاثوليكية فى لوفين، ولكنه عندما غزا الجيش الألمانى بلجيكا فى أغسطس ١٩١٤ تطوع فى الجيش واشترك فى معركة فى خط الجبهة، ومنح صليب الحرب مع غصن الغار، واستأنف دراسته ثانية فى ١٩١٩، متحولا إلى الرياضيات والفيزياء ليحصل فى ١٩٢٠ على شهادة دكتوراه (تماثل تقريبا درجة الماجستير الحديثة)؛ والتحق بمعهد لاهوت

ليُرسم كاهنا فى ١٩٢٣ . ولم يمارس ليميتر أبدا أى عمل ككاهن فى أبرشية، وإنما ارتقى صاعدا فى سلك الإكليروس بسبب اهتماماته العلمية، وأصبح عضوا فى الأكاديمية الأسقفية للعلوم فى ١٩٣٦، وعمل رئيسا لها من ١٩٦٠ حتى وفاته فى ١٩٦٦ . على أن ما يهمنا فى قضيتنا هنا، هو أن ليميتر قد قضى سنة فى كمبردج بعد أن غادر مباشرة المعهد اللاهوتى، وعمل هناك مع أرثر إدنجتون، ثم زار الولايات المتحدة حيث عمل مع شابلى فى هارفارد (فأجرى بحثا لدرجة دكتوراه فى الفلسفة فى علم الفلك، وهذا مؤهل له وضع أكثر اعتبارا من مؤهله وقتها) وزار كل من سليفر وهابل فى المرصد الخاص بكل منهما - وذلك خصيصا بسبب اهتمامه بتطبيق نظرية النسبية فى توصيف للكون الواقعى، ولأنه كان يدرك معا أهمية قياسات الإزاحة الحمراء هى وقياسات المسافات مما كان يجرى تنفيذه وقتها. وقد حضر أيضا الاجتماع المشترك للجمعية الفلكية الأمريكية والجمعية الأمريكية لتقدم العلم الذى تليت فيه ورقة بحث هابل التى تعلن اكتشاف النجوم القيفاوسية فى سديم أندروميدا.

عاد ليميتر إلى بلجيكا، وقد حولته أبحاثه أثناء أسفاره من مشتغل بالفيزياء الرياضية إلى مشتغل بعلم الكون مع فهم كامل لأحدث التطورات فى علم الفلك الرصدى، وعين أستاذا لعلم الفلك فى لوفين فى ١٩٢٧، وهى السنة التى نشر فيها ورقة بحثه عن الكون المتمددالتى تعد الآن ورقة بحث كلاسيكية.

مع أن ليميتر قد قام أساسا بإعادة إنتاج كل الاكتشافات التى قام بها فريدمان (مع بعض اختلافات لا حاجة بنا هنا لأن ننشغل بها)، إلا أن الفارق الرئيسى بين الباحثين كان يكمن فى طريقة تناولهما. فكان فريدمان عالم رياضة يلعب بمعادلات النظرية العامة؛ أما ليميتر (بحلول ١٩٢٧) فكان عالم فلك يحاول العثور على توصيف للكون الواقعى. وليس أدل على الفارق بينهما من حقيقة أن كلمة «مجرة» (أو سديم») لاتظهر فى أى مكان من ورقة بحث فريدمان، ولكنها تظهر فى ورقة بحث ليميتر. أوضح ليمتير أن تمدد الكون يحدث إذ يمتط المكان حاملا المجرات لتزداد تباعدا بمرور الزمن، وأن هذا يسبب إزاحة حمراء فى الضوء الآتى من المجرات البعيدة (إلا أن نسخة بحث ليميتر فى ١٩٢٧ لم يكن فيها أى انفجار كبير؛ ذلك أن نموذجه المفضل كان يبدأ بكون ساكن، مثل نموذج أينشتين، ثم يتلو ذلك ، بعد زمن طوله غير محدد، أن يأخذ الكون فى التمدد).

بل إن ليميتر ذكر فى ورقة بحثه فى ١٩٢٧ رقما للعلاقة بين الإزاحة الحمراء والمسافة، هو ثابت تناسب يصل إلى ٦٢٥ كيلو متر فى الثانية فى الميجا فرسخ (أو بكلمات أخرى، أن المجرة التى على بعد ميجا فرسخ واحد سترتد بسرعة ٦٢٥كم فى الثانية، والمجرة التى على بعد ٢ ميجا فرسخ سترتد بسرعة ١٢٥٠ كم فى الثانية، وهكذا دواليك، ولم يقل ليميتر من أين أتى رقمه هذا ـ إلا أنه كان قد عاد من الولايات المتحدة منذ زمن غير طويل، حيث

زار هابل، الذى كان يبحث من قبل أمر علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة، وهذا الرقم قريب تماما من الرقم الذى نشره هابل بعد ذلك بعامين. وهو فى الحقيقة قريب جدا من رقم هابل، حتى أن عالم الفلك جيم بيبلز كتب فى ١٩٧١ فى كتابه «علم الكون الفيزيائى». قائلا «لابد وأنه كان يوجد بين الإثنين اتصال من نوع ما».

لاريب أنه كان ثمة بعض اتصال بين ليميتر وأينشتين، لأن ليميتر ذكر فى وقت لاحق (فى مذكرات نشرت فى ١٩٥٨) أنه أطلع أينشتين على ورقة بحثه فى ١٩٢٧، ووافق أينشتين على سلامتها، ولكنه أوضح أن فريدمان قد توصل من قبل إلى ما يماثل هذه الاستنتاجات كثيرا. كما أن أينشتين عارض معارضة عنيفة فكرة أن الكون ربما يتمدد فيزيقيا، مفضلا نوع التفسير المستخدم فى نموذج دى سيتر، حيث الإزاحات الحمراء تنتج عن اختلافات فى بنية الزمكان عند المسافات المختلفة. ولعل هذا النقاش مع أينشتين هو الذى أوقف ليميتر عن قرع الطبول لترويج بحثه ـ وعلى أى حال فقد زار الولايات المتحدة مرة أخرى فى ربيع ١٩٢٧، لإكمال الاجراءات الرسمية حول درجته فى دكتوراه الفلسفة من هارفارد، ثم شغل منصبه كأستاذ فى لوفين، ولعله بالتالى كان لديه أمور كثيرة أخرى تشغله وقتها.

على أن الأمر الغريب حقا، هو أنه إذا كان هناك اتصال يتجه من هابل إلى ليميتر بالقدر الكافى لأن يجعل أول ظهور علنى لما يسمى الآن بثابت هابل، فى ورقة بحث ليميتر فى ١٩٢٧، لماذا إذن كان الاتصال جد قليل فى الاتجاه الآخر بحيث أن هابل لم يذكر أى شىء عن بحث ليميتر بعدها بسنتين؟ هل لم يرسل ليميتر أبدا نسخة من ورقة بحثه إلى هابل؟ لن نعرف ما حدث قط. ولكننا نعرف بالفعل أن هناك ورقة بحث لهابل نشرها فى ١٩٢٩، وهى التى جعلت مجتمع الفلكيين فى النهاية ينتصب فى جلسته وينتبه لفكرة أن الكون يتمدد، بما يتضمن أنه قد ولد عند لحظة معينة فى الزمان، وأن له عمرا يمكننا أن نحسبه. وكما يتبين من صلة هابل مع ليميتر، فإن هابل كان مشغولا بهذا اللغز لسنوات عديدة تسبق ١٩٢٩.

ذكر هابل بالفعل نموذج دى سيتر للكون فى ورقة من أول أوراق بحثه عن المسافات إلى السدم، نشرها فى ١٩٢٦. إلا أن المسافات نفسها استمرت تشغل انتباهه لزمن طويل بعد إنجازه الخارق فى تعيين وجود القيفاوسيات فى سديم أندروميدا. والنجوم القيفاوسية نفسها هى فحسب ناصعة بما يكفى بالضبط لإعطاء المسافات لسديم أندروميدا نفسه وعدد قليل جدا من مجرات أخرى قريبة، وحتى يسبر هابل الكون سبرا أعمق، كان عليه أن يستخدم أنواعا شتى من تكنيكات ثانوية، كلها تستغرق زمنا طويلا وليس فيها ما يعتمد عليه بمثل تكنيك القيفاوسيات. فنجوم النوفا مثلا،

يمكن أن ترى على مسافات لأبعد قليلا فى الكون مما يمكن رؤية القيفاوسيات، وحيث أن المسافة لسديم أندروميدا قد قيست من القيفاوسيات، فإن متوسط نصوع كل النوفات التى ترى فى سديم أندروميدا يمكن أن يستخدم كعلامة إرشاد لحساب النصوع المطلق لنوفات أكثر بعدا وبالتالى يستنتج من نصوعها الظاهرى المسافات إلى المجرات التى تستضيفها. استخدم هابل أيضا أشد ما ينصع من نجوم مفردة فى المجرات (نجوم أنصع كثيرا عن القيفاوسيات) فاستعملها كمؤشرات للمسافة، مخمنا أنه لابد من وجود بعض حد أقصى لأن يكون النجم ناصعا من غير أن ينفجر، بحيث أن أنصع النجوم فى سديم أندروميدا لابد وأن تكن فى الجوهر لها نفس النصوع مثل أنصع النجوم فى المجرات الأكثر بعدا، ومرة أخرى فسنجد بالتالى أن النصوع الظاهرى لهذه النجوم الأكثر بعدا يمكن استخدامه كمؤشرات للمسافة. وكما سبق أن ذكرت فإنه يمكن أن يتأسس مؤشر تقريبى على الحجم الظاهرى لإحدى المجرات فى السماء، (كلما كانت المجرة أبعد، بدت لنا أصغر)، بل ويمكن أن نقارن نصوع مجرة بأكملها مع نصوع سديم أندروميدا أو مجرة أخرى قريبة، لنحصل على مؤشر للمسافة (إذا كان للمجرات كلها النصوع نفسه، وهو أمر لايتحقق لسوء الحظ، فإن المجرة التى لها نصوع بقدر من جزء من المائة من مجرة مختارة قريبة ستكون أبعد بعشرة أمثال).

هناك أوجه عدم يقين واضحة تتضمنها كل هذه التقديرات، وبالتالى فأن أفضل طريقة للحصول على مرشد معقول للمسافة إلى أى مجرة مفردة (أو إلى مجموعة عنقودية من مجرات مفردة تتحرك معا خلال الفضاء) هو تطبيق أكثرعدد ممكن التكنيكات المختلفة على كل مجرة (أو على كل مجموعة عنقودية). وقد استغرق هذا كله زمنا، ولكنا هابل أخذ تدريجيا يبنى كتالوجا للمسافات إلى السدم. وعندها فقط أصبح هابل حقا فى وضع يتيح له أن يلتفت منتبها للإزاحات الحمراء، وأن يحاول العثور على علاقة بين الإزاحة الحمراء والمسافة. كان لديه فى ذهنه عندما بدأ هذا البحث، فكرة أن الإزاحة الحمراء إذا كانت حقا تتناسب مع المسافة، فإن كل ما سيكون عليه أن يفعله حتى يقيس المسافات فى المستقبل هو أن يقيس الإزاحات الحمراء، ثم يحسب حاصل ضرب ذلك فى ثابت التناسب الملائم.

فى ١٩٢٦، فى نفس الوقت تماما الذى عين فيه هابل طبيعة سديم أندروميدا واللولبيات الأخرى كمجرات تتجاوز درب التبانة، كان سليفر يصل إلى نهاية دراساته عن الإزاحات الحمراء، وذلك لأن المعدات التى أتيحت له، والتى تتأسس على تليسكوب إنكسار من ٢٤ بوصة، كانت قد استخدمت حتى أقصى ما يمكن لها رصده. وإذا كان هابل يريد البحث عن علاقة بين الإزاحة الحمراء والمسافة، فأول ما سيكون عليه أن يفعله هو أن يوجد المسافات إلى أكبر عدد ممكن من السدم التى قاس سليفر إزاحاتها الحمراء. ولكن هابل حتى يسبر الكون سبرا أعمق، كما أدرك فى ١٩٢٦، سيحتاج إلى الإزاحات الحمراء لأجرام أكثر شحوبا، تكون

أفضل طريقة للحصول عليها هى بواسطة تليسكوب المائة بوصة. كان هابل نفسه منهمكا بعمق فى البرنامج المتصل لقياس المسافات،ولم يكن تليسكوب المائة بوصة قد استخدم قط فى أبحاث الإزاحة الحمراء، التى تتطلب قبلها صورا فوتوغرافية لأطياف الأجرام الشاحبة جدا. كانْ هابل يحتاج لشخص آخر يأخذ على عاتقه المهمة الشاقة لتكييف وضع التليسكوب لهذا البحث الجديد، ثم القيام بالقياسات ذاتها.

كان هوماسون هو الخيار الواضح لذلك، ليس فحسب لأنه راصد ممتاز، ولكن ذلك أيضا بسبب الاختلاف الواضح فى مكانة العالمين. فمع أن هابل كان يعرف أنه يحتاج ولابد إلى عون فى مشروعه الجديد، إلا أنه لم يكن يريد شريك عمل يساويه هو نفسه فى مكانته كعالم فلك، كان يريد مساعدا، بحيث يكون لهابل أكبر قدر ممكن من المجد الذى يصاحب البحث (أو الأفضل أن يكون له كل هذا المجد).

قبل هوماسون هذا التحدى، وحتى يختبر مايوجد من إمكانات اختار فى محاولته الأولى لقياس الإزاحة الحمراء سديما كان له ضوء شاحب جدا بما لايسمح بأن يحلله سليفر بهذه الطريقة فى مرصد لويل. وبعد مرور ليلتين وهو يبقى فى صبر التليسكوب العظيم فى متابعة للسديم الشاحب، حصل على طيف جيد بما يكفى لأن يبين (تحت عدسة مكبرة) خطوط طيف تصاحب وجود

ذرات الكالسيوم فى السديم. وكانت الخطوط مزاحة إلى الطرف الأحمر من الطيف، بمقدار مطابق لسرعة دوبلر تبلغ حوالى ٣٠٠٠ كيلو متر فى الثانية، بما يزيد عن مثلين لمقدار أى إزاحة حمراء قاسها سليفر.

كان إجراء المحاولة ناجحا، ولكنها بينت أيضا لهوماسون مدى قسوة مايلزم فيزيقيا للحصول على مزيد من أطياف السدم الشاحبة. ولم يكن مما يروق له ما يتوقع من أنه سيقضى الليلة بعد الأخرى متجمدا فى مقعده عند أجهزة التحكم فى توجيه التليسكوب، وكل هذا لصالح مشروع بحث لشخص آخر، وكل هذا لتأكيد ما سبق أن اكتشفه سليفر (كما كان أمر البحث فى أوله على الأقل)، وقال هوماسون ذلك من غير أى مداراة. على أنه اقتنع بمواصلة المهمة، وكان هذا فى جزء منه نتيجة بعض تعليقات إطراء من هيل (وكان قد اعتزل العمل كمدير لمرصد مونت ويلسون لأسباب صحية، ولكنه بقى على اتصال وثيق به) وبأن نال وعدا بمطياف جديد تزيد حساسيته كثيرا عن المطياف القديم، بحيث يمكّن من الحصول حتى على أطياف السدم الباهتة فى ليلة واحدة. وافق هوماسون على مواصلة العمل. ولم يحدث طبعا على المدى الطويل أن سهل له المطياف الجديد حقا من عبء مهمته. فإذا حدث يوما أن سديما شاحبا أمكن تصوير طيفه فوتوغرافيا فى ليلة واحدة، فإن سديما آخر شاحبا «جدا» كان لايمكن تصويره إلا بعد ليلتين أو ثلاث ليال من الرصد. فعلماء الفلك دائما ما يستغلون

معداتهم (وكانوا فى تلك الأيام يستغلون أنفسهم أيضا) لأقصى حد ممكن. وقبل أن يمر زمن طويل كان هوماسون مربوطا تماما بالمشروع، وهو يعمل بأشق جهد بذله قط ليحصل على إزاحات حمراء لأجرام أشحب وأشحب.

ولكنه أخذ الأمور خطوة فخطوة. وعلى الرغم من نجاح هوماسون من أول الأمر إلا أنه أظهر حذرا وجلدا مثاليين (ولابد وأنه كان حقا سائق بغال ماهر)، فأمضى شهورا كثيرة وهو يقيم المعدات الجديدة فى المرصد، ويشحذ من مهارته الشخصية بالنسبة للتكنيك الجديد، وذلك بأن يعيد قياس الإزاحات الحمراء لكل السدم الخمسة والأربعين التى حللها سليفر. ووجد نفس مقادير الإزاحات الحمراء التى وجدها سليفر، وهذا تأكيد مهم بأن النتائج تعنى شيئا ما (ولنتذكر هنا ما حدث من حيرة حول قياسات فان مانن للدوران)، وهكذا كان هناك توليفة من تليسكوب المائة بوصة، مع المطياف الجديد، ومع هوماسون نفسه، كلها متأهبة لأن تقفز إلى الإزاحات الحمراء الأكبر.

أخذ هابل أثناء ذلك يجرى قياسات للمسافات (مستخدما التكنيكات المختلفة التى ذكرت موجزا لها) ليقيس بها الكثير من السدم نفسها، وأصبح لديه فكرة جيدة تماما بأن منظومتى البيانات تبين علاقة خطية بين الإزاحة الحمراء والمسافة ـ أى أن الإزاحة الحمراء تتناسب مع المسافة، بحيث إذا كان لإحدى المجرات إزاحة

حمراء يصل مقدارها لمثلي مالمجرة أخرى، فإن لها مسافة بعد من مثلين. والحقيقة أنه كان لديه ولابد بعض فكرة عن ذلك من قبل في ١٩٢٦، كما رأينا من الدليل الموجود في ورقة بحث ليميتر في ١٩٢٧، ولكنه كان حذرا جدا في تسجيل استنتاجه كتابة، ولم يندفع إلى فعل ذلك إلا عندما بدا له أن هناك شخصا آخر يقتفي نفس المسار لبحثه.

كان هذا الشخص الآخر هو لوندمارك وكان عند نهاية ١٩٢٨ قد قدم طلبا رسميا لوالتر آدمز مدير مرصد مونت ويلسون وقتها، ليزور الجبل مرة وأخرى، لغرض عاجل واضح هو قياس الإزاحات الحمراء للسدم الباهتة. بل إنه سأل إن كان من المتاح أن يساعده ميلتون هوماسون في بحثه. ورفض طلب لوندمارك بأدب، والتقط هابل الإشارة، ونشر أول ورقة بحث قصيرة له حول علاقة الإزاحة الحمراء - المسافة في أوائل ١٩٢٩. كانت دعوى هابل في هذه الورقة (التي كانت من ست صفحات لاغير، وعنوانها «علاقة بين المسافة والسرعة القطرية لدى السدم خارج المجرة») هي أن لديه قياسات مضبوطة للمسافات لأربعة وعشرين سديما فقط من السدم الستة والأربعين التي كانت إزاحاتها الحمراء معروفة وقتها على نطاق واسع، وقياسات أقل دقة للسدم الأثنين والعشرين الأخرى. وعندما تخط هذه القياسات كنقط على رسم بياني، تمتد المسافات فيه بطول الحور الأفقي بينما ترتفع السرعة على المحور الرأسي، فإن هذه النقط، تكون متناثرة نوعا على نطاق واسع،

ولكن السرعات الأكبر تنحو لأن تصاحب الازاحات الحمراء الأكبر. ورسم هابل خطا مستقيما يمر خلال هذه النقط المتناثرة، له نسبة ميل تعين ثابت التناسب فى علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة بما يبلغ حوالى ٥٢٥ لكيلومتر فى الثانية فى الميجا فرسخ (أى بما يقل بحوالى ٢٠ فى المائة عن القيمة التى ذكرها ليميتر فى ١٩٢٧).

وباعتبار الأدلة التى وردت فى ورقة بحث ١٩٢٩ وحدها، يكون من الصعب تبرير اختيار هابل لهذه النسبة بالذات كنسبة ميل للخط المستقيم (وحتى أكون أمينا، فإن من الصعب أن نبرر رسم خط مستقيم على الإطلاق)؛ إلا أن هابل كان يعرف بالفعل أن هناك على الأقل مجرة واحدة لها إزاحة حمراء أكبر كثيرا وما يقابل ذلك من مسافة بعد أعظم، وهو بالتأكيد قد اختار هذا الخط المستقيم بالذات ليجعل نتائجه المنشورة فى تلك الورقة فى عام ١٩٢٩ منتظمة فى نفس الخط مع معطياته غير المنشورة عن الإزاحات الحمراء الأكبر التى مازال يجرى بحثه عليها. ما السبب الذى جعله جد حذر هكذا فى الكشف عن النتائج الجديدة التى كانت تأتى الان من مقارنة بحثه الخاص به عن المسافات مع نتائج هوماسون عن الإزاحات الحمراء؟ السبب أنه أراد أن ينتهى من المهمة قبل أن ينشر ورقة بحث كاملة. ولو أن هناك علماء فلك آخرين (مثل لوندمارك) تنسموا أى معلومات عن مدى نجاح هوماسون حقا فى قياساته للإزحات الحمراء الكبيرة جدا، لربما

حاولوا الحصول على نصيبهم من الغنيمة، ليختلسوا بعض المجد من فريق مونت ويلسون. وأن يشرك هابل هوماسون معه فى مجده فهذا أمر قد يتقبله تماما، فمن الواضح أن هوماسون أقل منه مكانة؛ أما أن يشرك معه فى مجده شخصا آخر من مرصد مختلف فهذا مالايتقبله.

وحتى مع ذلك فإن دعوى هابل بوجود علاقة خطية بين الإزاحة الحمراء والمسافة قد تم تقبلها من مجتمع الفلكيين تقبلا سريعا، وأصبحت تعرف بقانون هابل. وعلى كل فكما سبق أن رأينا، كانت فكرة وجود نوع من علاقة بين الإزاحة الحمراء والمسافة فكرة تحوم كثيرا فى الأجواء، وقد أصبح الناس مستعدين لتصديقها (وليس أقل سبب لذلك أن العلاقة الخطية هى أبسط أنواع العلاقة، وأسهل ما يعمل به منها). كانت العقبة هى أن نوع علاقة الإزاحة الحمراء - المسافة التى وجدها هابل (مع هوماسون الذى لم ينل بعد أى إشارة) لم تكنّ مما يتوافق مع نموذج أينشتين للكون ولا مع نموذج دى سيتر. علق إدنجتون على هذه المشكلة للعلماء المنظرين فى اجتماع للجمعية الملكية الفلكية فى لندن فى يناير ١٩٣٠، (وكان قد نسى بالكامل ورقة بحث ليميتر فى ١٩٢٧، إن كان قد قرأها أصلا). وعندما قرأ ليميتر هذه التعليقات فى التقرير المنشور عن الاجتماع، كتب لإدنجتون خطابا يحوى نسخة أخرى من ورقة البحث وموضحا أن نوع علاقة الإزاحة الحمراء - المسافة التى وجدها هابل يمكن حقا أن ينشأ على نحو

طبيعى فى سياق نظرية النسبية العامة. ولم يكتف إدنجتون هذه المرة بأن يقرأ ورقة البحث فحسب، ولكنه كتب فورا إلى مجلة «ناتشر» (الطبيعة)، المجلة العلمية الرائدة فى ذلك الوقت، ليلفت الأنتباه لبحث ليميتر؛ كما أنه أرسل أيضا نسخة إلى دى سيتر، الذى أقرها بحماس. ووافق كل الأفراد تقريبا على أن ليميتر لديه التفسير لعلاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة التى اكتشفها هابل، وأن الكون ككل لابد وأنه يتمدد فيزيقيا، ليزداد حجما بمرور الزمن.

عند بداية ١٩٣١ نشر هابل وهوماسون معا ورقة بحث عنوانها «علاقة السرعة ـ المسافة لدى السدم خارج المجرة»، وكشفت هذه الورقة على الأقل عن معظم المعطيات التى كان هابل يكتمها فى صدره طيلة العامين الآخرين. وإذ أوردا خمسين إزاحة حمراء أخرى، فإنهما بذلك وصلا إلى مايزيد عن ضعف العدد فى ورقة بحث هابل عام ١٩٢٩، ودفعا بما سجلاه ليصلا به إلى مجموعة عنقودية من المجرات لها إزاحة حمراء تقابل سرعة ارتداد تقل بالكاد عن ٢٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية، على مسافة قدرت وقتها بأنها تزيد قليلا عن ١٠٠ مليون سنة ضوئية. وعندما خطت البيانات فى رسم بيانى، كان لايزال هناك ذلك الخط المستقيم الذى له نسبة ميل تماثل تقريبا ما كان فى ورقة بحث عام ١٩٢٩؛ إلا أن مدى تناثر النقط على طول الخط كان أقل كثيرا، وبدا أن نسبة الميل التى اختيرت للخط المستقيم معقولة بدرجة أكبر كثيرا.

ولكن مـاذا يعنى هذا كله؟ إذا كـانت المجـرات الآن تتـحـرك مـتـبـاعـدة، فإن هذا يدل على أنها كـانت أكـثـر تقاربا مـعـا فى الماضى. ولوذهبنا وراء فى الماضى إلى الزمن الكافى، سنجد أنها كـانت ولابد إحـداها فـوق الأخـرى - أى أنه بمعنى مـا، لابد وأنه كـانت هناك بداية للكون الممـتـدد. وإذا كـان التـمـدد يجـرى طول الوقت بنفس معدل السرعـة، سيكون من السهل أن نحسب من ثابت التناسب فى عـلاقـة الإزاحـة الحـمـراء - المسافـة، طول المدة التى انقضت منذ كانت كل المجرات فى الكون المرئى مدهوكة معا فى كتلة واحدة. وإذا استخدمنا قيمة للثابت (الذى أصبح يعرف بثابت هابل، ويرمز له الآن بحرف H، وإن كـان هابل نفسه قد استخدم حرف K) تبلغ حـوالى ٥٢٥ كيلو متر فى الثانية فى الميجا فرسخ، فسنجد أن «عمر الكون» هذا يصل إلى حوالى بليونى عام.

وكما سبق أن رأينا، فإنه بحلول ثلاثينيات القرن العشرين كانت تكنيكات التأريخ الإشعاعى قد أثبتت بالفعل أن الأرض والمنظومة الشمسية لابد وأن يكون عمرها أكبر من ذلك كثيرا. فإما أن هذه القياسات كانت خطأ (وهذا غير مرجح)، أو أن الكون لم يكن يتمدد دائما بنفس السرعـة (وهذا معقول تماما؛ ولنتذكر هنا فكرة ليميتر من أن الكون كان قبل أن يتمدد يتلكأ على نـحو غير مـحدد)، أو أن هناك خطأ مـا فى تفسـيـر هابل لقـيـاسـات هومـاسـون للإزاحـات الحمراء. على أن النقطة المهمـة هى أن هذه الأسئلة كـانت توجه فى أوائل ثلاثينيات القرن العشرين، وليس أنه لم تكن هناك بعد أى إجابات مـحددة. وقبل اكتشاف علاقة الإزاحة الحمراء - المسافة،

أو قانون هابل لم يكن هناك أحد ينظر نظرة جدية لإمكان أن يكون الكون نفسه قد ولد عند لحظة معينة فى الزمان وله عمر يمكن قياسه. أما بعد ورقة بحث هابل وهوماسون عام ١٩٣١، فقد أصبحت فكرة قياس عمر الكون جزءا من الأبحاث العلمية على العالم.

كان هابل نفسه حذرا بشأن المعنى الفيزيقى لاكتشافاته. ومع أنه كان من الطبيعى أن تفسّر الإزاحة الحمراء على أنها ظاهرة دوبلر، ناجمة عن حركة المجرات خلال المكان، إلا أن هابل تجنب إبداء أى رأى فى الأمر. وعندما نشر كتابه الكلاسيكى «عالم السدم» فى ١٩٣٦ كتب فيه: «يمكن التعبير عن الإزاحات الحمراء بمقياس من السرعات من باب تسهيل الأمور. وهى تسلك كما تسلك علاقة السرعة - الإزاحات وتتمثل تمثلا بسيطا جدا على نفس المقياس المعروف، بصرف النظر عما يكونه التفسير النهائى. ويمكن استخدام مصطلح (السرعة الظاهرية) فى المقولات التى تعتبر على نحو حريص، وستظل الصفة دائما متضمنةً حيث يتم حذفها فى الاستخدام العام.»

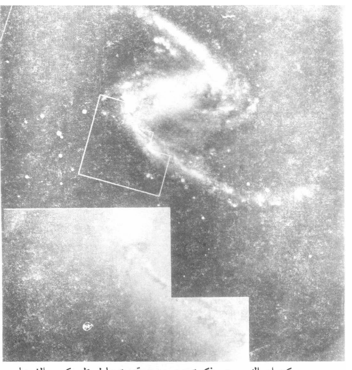
كان هابل مصيبا وستظل الصفة متضمنة فى النقاش عن الإزاحات الحمراء فى هذا الكتاب. فالإزاحات الحمراء تصاحب سرعات «ظاهرية»، وليس حركة حقيقية للمجرات فى المكان، كما سبق أن رأينا. فهى ليست ناجمة عن ظاهرة دوبلر، وإنما هى بلغة

نظرية النسبية العامة، ناجمة عن تغير زمنى لعامل القياس المترى فى معادلة ليميتر. وإذا تحدثنا بلغة اعتيادية بأكثر، فإن تفسيرات ظاهرة الإزاحة الحمراء التى كانت تعطى بالفعل فى ثلاثينيات القرن العشرين، عندما كتب هابل الكلمات المذكورة أعلاه، لم تكن تتضمن سرعات بمعنى هذه الكلمة فى الحياة اليومية، وإنما بمعنى مط المكان نفسه. وتشير هذه التفسيرات دائما وبوضوح متزايد، إلى فكرة أن هناك حقا عمرا معينا للكون.

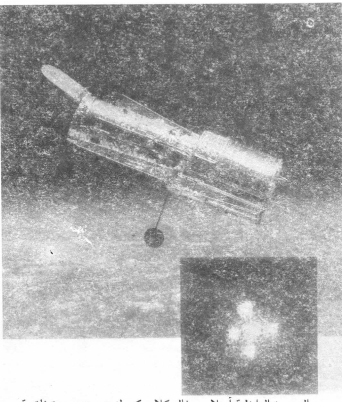


المنطقة المركزية اللولبية للمجرة م١٠٠، كما صورها هابل تليسكوب الفضاء (هـ ت ف) بكاميرا المجال المتسع والكواكب فى ٣١ ديسمبر ١٩٩٣ .

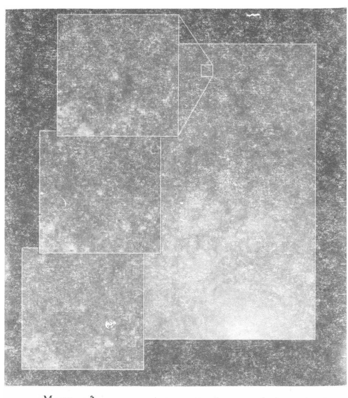
(بفضل من ناسا.)



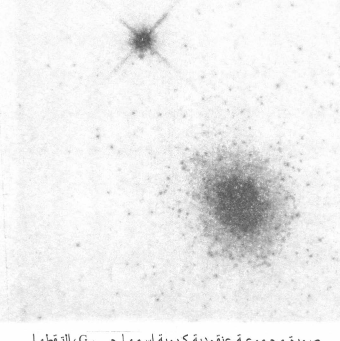
يمكن إدراك بعض فكرة عن مدى قدرة هابل تليسكوب الفضاء «هتف» (وقد صور فى مداره حول الأرض فى صورة لناسا أعلاه) وذلك من الصورتين اللتين فى الصفحة المقابلة . والصورة الأساسية صورة مجرة لولبية لها قضيب، وهى مجرة إن جى سى ١٣٦٥ NGC1365 وقد رصدت من الأرض؛وتبين الصورة التفصيلية منطقة صغيرة من هذه المجرة داخل الخط الخارجى الأبيض، كما ترى بواسطة هتف. (بفضل من و . فريدمان، عضو فريق المشروع الرئيسى «لهتف»، وناسا.)



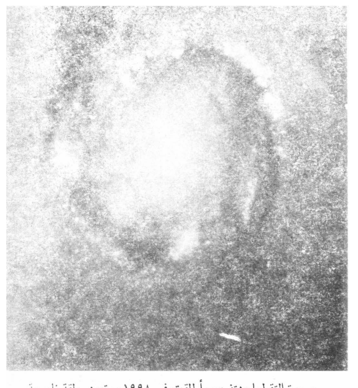
الصورة الداخلية أعلاه. مثال كلاسيكى لنوع من صورة ناتجة عن عدسة جذبوية، وتسمى بصورة صليب أينشتين. البقع الأربع الخارجية الناصعة صورة مختلفة لنفس الكوازار البعيد، نتجت عن انحناء الضوء حول مجرة لولبية (النقطة المركزية الناصعة) تكاد تقع بالضبط على الخط الذى يمتد بيننا وبين الكوازار (بفضل من ناسا وإسا [وكالة الفضاء الأوروبية])



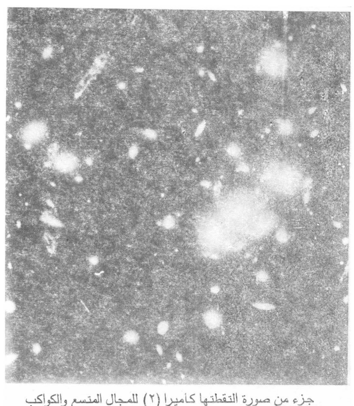
تبين هذه الصورة «لهتف» جزءا من مجرة م١٠٠ M100 مع تفاصيل (فى الصور الداخلية) تبين التغيرات فى نصوع نجم واحد متغير قيفاوسى فى هذه المجرة. وقد التقطت الصور الثلاث فى مايو ١٩٩٤، وتبين تغيرات النصوع فى هذا القيفاوسى بالذات عبر فترة من أربعة أسابيع. وكانت م١٠٠ وقتها أقصى المجرات بعدا التى رصدت فيها متغيرات قيفاوسية. (بفضل من ويندى فريدمان وناسا).



صورة مجموعة عنقودية كروية إسمها جى $G_1$١، التقطها «هتف» فوتوغرافيا فى يوليو ١٩٩٤، وقد طبعت كنسخة سلبية، وهذه حيلة شائعة يستخدمها علماء الفلك للكشف عن التفاصيل. وبهذا تظهر النجوم كنقط سوداء فوق خلفية بيضاء. وهناك ما يزيد عن ٣٠٠٠٠٠ نجم فى هذه العنقودية، وهى جزء من مجرة أندرموديا (إم ٣١). (بفضل من م. ريتش، وك. ميجل، وج. نيل، و و. فريدمان، وناسا).



صورة التقطها «هتف»، وأطلقت فى ١٩٩٨، وتبين حلقة ناصعة من نجوم صغيرة السن حول قلب مجرة أن جى سى ٤٣١٤. كل النجوم الناصعة التى فى الحلقة عمرها أقل من خمسة ملايين عام، ولكن أحدا لا يعرف بالضبط ما الذى قدح الزناد ليفجر عملية تشكيل النجوم. (بفضل من ف. بندكت، وا. هويل. و ج جورجنسن، ود. تشابل، وج. كينى، و ب. سميث، وناسا).



جزء من صورة التقطتها كاميرا (٢) للمجال المتسع والكواكب لظاهرة العدسة الجذبوية التى تصاحب مجموعة عنقودية من المجرات تسمى ٠٠٢٤ + ١٦٥٤ . والأجرام التى لها شكل الحلقة إلى يسار الصورة هى صور عدسية منفصلة لمجرة تقع بعيدا وراء المجموعة العنقودية الناصعة من المجرات، والتى تعمل كعدسة. (بفضل من و. كولى، وإتيرنر. و ج. أ. تايسون، وناسا).

جزء من صورة التقطها «هتف» للمنطقة المركزية لمجموعة عنقودية من المجرات اسمها سى إل ٠٩٣٩ + ٤٧١٣ . والمجرات التى فى هذه المجموعة العنقودية بعيدة جداً حتى أننا نراها بواسطة ضوء خرج منها عندما كان عمر الكون فحسب حوالى ثمانية أو تسعة بلايين عام، أى ثلثى عمر الكون الحالى، واستغرق الضوء أربعة أو خمسة بلايين عام فى رحلته لنا. (بفضل من آلان دريسلر، وناسا).

علم الكون المصحح

مط عمر الكون

كان هناك توالف بين اعلان هابل وهو ماسون لعلاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة، وبين إعادة اكتشاف نماذج ليميتر للكون المتمدد، مما أدى إلى أن أصبحت دراسة الكون المتمدد جزءا من التيار الرئيسى للعلم، إبتداء من السنوات الأولى لثلاثينيات القرن العشرين وما تلاها. وتبين العلماء من توالف النظرية والأرصاد (التى تساوى التجارب) أنهم يتعاملون مع ظاهرة حقيقية. ومن غير النظرية ما كان لأحد أن يعرف ما الذى يفهمه من قياسات الإزاحة الحمراء (والحقيقة أنه حتى فى وجود النظرية حاول قلة من الأفراد تفسير الإزاحات الحمراء بطرائق أخرى، ولكن بدون نجاح). وبدون الأرصاد ما كان لأحد أن يعرف ما الذى تدور حوله كل هذه النماذج النظرية. فإذا وضعنا الإثنين معا، يصبح لدينا الأساس لتوصيف للكون الواقعى. أدت التوليفة إلى أقصى

إثارة وانفعـال، حـتى أن مـا نتج من نقـاش كـان يدور على صفحات صحيفة «التايمز»، حيث أسهم عالم الفلك والكاتب العلمى والجماهيرى جيمس جينز بسلسلة من المقالات طوال شهر مايو ١٩٣٢ حاول فيها أن يشرح للقراء المحيّرين فكرة الزمكان المنحنى والمتمدد.

كـانت التطورات الرئيـسـيـة فى علم الكون فى الثـلاثينيـات والأربعينيات من القرن العشرين هى فى تفسير وشرح الأفكار التى نشأت عن هذين الكشـفين العظيـمين فى العـشرينيـات. وعندمـا نتبصـر وراء فى الأمـر سنجـد أن كلا هذين الخطين من الدراسـة يبدوان متساويين فى أهميتهما، إلا أن أحدهما كان فى أول الأمـر مهملا إلى حد كبير. وربما كـان سبب ذلك أنه حتى علماء الفلك والكونيات كانوا مازالوا غير مرتاحين للفكرة الجديدة من أن الكون قد تكون له بداية محددة، فى وقت محدد فيما مضى (ولابد أن سبب عدم ارتياحهم كان فى جزء منه أننا لو أدخلنا بالفعل أرقام هابل نفسه عن علاقة الإزاحة الحمراء - المسافة فى أبسط نماذج علم الكون، سيكون «عمـر الكون» الناتج عن ذلك أقل من عمـر الأرض). هذا وقد ألقى إدنجتون حديثا فى الجمعية البريطانية للرياضيات فى يناير ١٩٣١، وهو حديث يلقى ضوء اكاشفا على هذا النفور للعلماء من تقبل مـا تنبـئـهم به توليفـة الأرصاد مع النظرية. وكـان خطابه كرئيس للجـمـعـيـة يتناول أسـاسـا فكرة

الانتروبيا (*)، التى تقول أن كمية عدم النظام فى الكون تتزايد دائمـا («فـالأشـيـاء تبلى»)، وأن الكون يواجـه حـالة من «مـوت الحرارة»، حيث يصبح كل شئ أملسا فى حالة متسقة عند درجة حـرارة متسقة. ولكن لو أننا تخيلنا انقلاب العملية، ولف تاريخ الكون وراء، هل من الممكن أنه قـد كـان هناك أيضـا «مـيـلاد للحرارة»، أى حـالة من نظام كامل يخلق فيـها الكون؟ ثم يقـول إدنجتون «إن فكرة البداية لهى فكرة كريهة لى».

شـجع هذا التعليق ليمـيتـر على أن يطور أفكاره فى علم الكون لمدى أبعد، ولأن يبين أن العلم لا يعتـمـد على الذوق الشـخـصى، وإنما على نتائج التـجـارب والرصد. وقـد تكون فكرة وجـود بداية فكرة كـريهـة، ولكن إذا كـان هذا هو مـا تدل عليه الأرصاد، فإنها يجب أن تؤخذ مأ خذا جديا. وأخذ ليميتر على عاتقه قبول التحدى بأن يوفر توصيفا علميا لما يحتمل أن تشبهه البداية (أى توفير نموذج) مـعـتـمـدا فى ذلك على الأفكار الجـديدة التى انبـثـقت من فيزياء الكم فى عشرينيات القرن العشرين. أرسل ليميتر «خطابا» إلى مـجلة «ناتشر» العلمـية (تسمى مـجلة «ناتشر» أوراق بحـثـها العلمـيـة «بالرسائل»)، يـجيب فـيـه عن تعليق إدنجـتـون على وجـه الخصوص ليقول أن بداية العالم «تبعد بعداً كافياً عن نظام الطبيعة الحالى بحيث لا تكون مطلقا منفرة»، ويواصل القول فيطرح أننا: «نسـتطيع تصـور بداية الكون فى شكل ذرة فـريدة، يكون وزنـهـا الذرى هـو كـتلة الكون الكليـة. وهذه الـذرة تكـون فى

(*) الإنتروبيا كمية متداولة فى علم الدينا ميكا الحرارية، وتساوى كسرا بسطه كمية الحرارة التى تكتسب أو تفقد ومقامه الحرارة المطلقة التى يحدث عندها ذلك. وهى تعـتبـر مـقيـاسا للطاقـة غيـر المستـفـادة فى نظام ديناميكى حـرارى. (المترجم).

حالة بالغة من عدم الاستقرار فتنقسم إلى ذرات أصغر وأصغر فى نوع من عملية إشعاعية - فائقة».

وبكلمات أخرى، فإن الكون يمكن أن يكون قد أصبح بما هو عليه عن طريق انشطار متكرر للذرة الفائقة (مثلما يحدث فى قنبلة ذرية ضخمة) - أو الأحرى أن ذلك يتم عن طريق انشطار «نواة» فائقة. كان ليميتر يتحدث فى الحقيقة عن نواة ذرة واحدة تحوى كل كتلة الكون المرئى، وتنفجر عند بداية الزمان. وسيكون هذا الجرم فى حجم يكون عرضه أكبر فحسب بحوالى ثلاثين مثل عن شمسنا، ولكن له كثافة نواة ذرة - وهذا يعطينا بعض فكرة عن مدى ما يوجد حقا من فضاء خاوى بين النجوم والمجرات (أو فى الحقيقة مدى ما يوجد من فضاء خاوى فى ذرة من المادة العادية، حيث النواة المركزية الدقيقة الصغر التى تحوى أساسا كل الكتلة تكون محاطة بسحابة من الالكترونات تبعد عن النواة بمثل ما تكون قبة القديس بطرس فى روما بعيدة عن بقعة غبار فوق أرضية الكنيسة).

عُرفت هذه الفكرة بأنها فكرة الذرة البدائية، ومع أنها قد تأسست على التخمين والاستعارة بدلا من أن تتأسس على معادلات قوية متينة، إلا أن ليميتر سرعان ما ربطها بنماذجه فى الكونيات، مستخدما ثابتا كونيا (حد لامبدا). ويبدأ الكون فى النموذج المفضل بالذات عند ليميتر، بانفجار الذرة البدائية، ويتمدد

لفترة، ثم يظل متلكئا لزمن أطول كثيرا وهو فى حالة ثبات تقريبا (بما يزيل أى مشكلة من أن يصبح عمر الكون أقل من عمر الأرض) ثم يتمدد مرة أخرى. وحسب هذه الصورة، فنحن نعيش فى المرحلة الثانية من تمدد الكون. نال ليميتر نصيبا من الشهرة كنتيجة لصقله لهذه الأفكار فى أوراق بحث علمية وكذلك فى اسهامات عديدة جماهيرية، وبلغ ذلك ذروته فى كتابه: «فرض الذرة البدائية» الذى نشر فى ١٩٤٦ . وتبدو اليوم هذه الدعوة كأمر له كل ما يبرره، لأنه أيا كان ما يوجد من أخطاء، فإن نموذج الكونيات المفضل لدى ليميتر، هو المرة الأولى التى يجرى فيها أى فرد محاولة علمية جادة لتفسير ما جرى «عند البداية»، ويحاول التوفيق بين حسابات عمر الكون المؤسسة على بيانات الإزاحة الحمراء وبين تقديرات عمر الأرض.

على أن فكرة الذرة البدائية لقيت تجاهلا على نطاق واسع من العلماء زملاء ليميتر فى ثلاثينيات القرن العشرين، ومع أنها يمكن النظر إليها الآن على أنها تمهيد يؤذن بفكرة الانفجار الكبير، إلا أن علم كونيات الانفجار الكبير لم يأخذ فى الانطلاق حقا إلا فى أربعينيات القرن، كنتيجة لأبحاث جورج جاموف وزملائه. وقد رويت قصة كيفية تطور الأمور بعد أبحاث جاموف فى كتابى «البحث عن الإنفجار الكبير»، ولن أذكر هنا أى مزيد عن ذلك، لأنى أركز فى هذا الكتاب على النزاع حول عمر الكون. ولكن لعله مما يستحق أن نوضحه هنا أنه كان هناك وجه ضرر من نشر

فكرة ليميتر عن الذرة البدائية نشرا جماهيريا. فلسوء الحظ كانت صورة ذلك كما تستحضرها الأذهان هى صورة ذرة (أو نواة) بدائية تقبع فى فضاء خاوى، ثم تنفجر للخارج فى الخواء. وهذا خطأ؛ وكما كان ليميتر نفسه يعى تماما، فإنه أيا كان ما حدث بالفعل عند البداية فإنه يتضمن ميلاد المكان والزمان، وكذلك أيضا المادة والطاقة. ولم يكن هناك «خارج» تنفجر فيه النواة البدائية، وعندما كان الكون له حقا كثافة نواة ذرة، كان الكون المرئى كله، كل المكان الذى يمكننا الآن «رؤيته»، يشغل حيزا أكبر بثلاثين مرة لا غير عن شمسنا. وهذه هى الفكرة التى وجد قراء «التايمز» أنها مما يصعب جدا استيعابه، حتى مع الاستعانة بتفسيرات جينز.

أخذ العلماء زملاء ليميتر تصوره لنموذج كون متمدد مأخذا جديا فى ثلاثينيات القرن العشرين (وأخذوه جديا أكثر مما أُخذت به فكرة الذرة البدائية)، إلا أن الأمر كله بقى هكذا فحسب - مجرد حل واحد بين حلول كثيرة لمعادلات نظرية النسبية العامة، ليس له أهمية على وجه خاص. وقد كان هناك حقا قدر كبير من الاهتمام بمختلف حلول معادلات أينشتين فيما بين علماء الرياضة فى أعقاب اكتشاف الكون المتمدد. وحدث بالذات أن أنشأ عالم الرياضة الأمريكى هوارد روبرتسون هو وزميله البريطانى أرثر ووكر مجموعة بأسرها من النماذج الرياضية التى تتلاءم بالذات مع إجراء الأبحاث بها (من حيث تناول المعادلات وتفسيرها)،

واعتبرت نماذج روبرتسون - ووكر هذه نماذج هامة ليس فحسب فى ثلاثينيات القرن العشرين، ولكنها أيضا ما زالت تناقش وتستخدم حتى الآن (بخلاف نموذج ليميتر). إلا أنه كان هناك نموذج معين للكون أثبت بالذات فائدته فى سياق الخلاف حول عمر الكون، وهو نموذج انبثق فى وقت مبكر يرجع إلى ١٩٣٢، أتى مباشرة فى أعقاب فكرة الذرة البدائية. وكان هذا النموذج هو الساق الثانية لما أصبح فيما بعد نظرية الانفجار الكبير، وهو النموذج الذى له أكبر علاقة بالبحث الذى سيوصف لاحقا فى هذا الكتاب. وقد أنشأه عالمان كان كل واحد منهما له قبلها إسهاماته المنفردة فى أوجه الخلاف بشأن الكونيات - وهما ألبرت أينشتين ووليام دى سيتر.

كان أينشتين قد أصبح فى الحقيقة مناصرا لفكرة الكون المتمدد، ونابذا للثابت الكونى فى زمن مبكر يرجع إلى أبريل ١٩٣١، عندما زار مرصد مونت ويلسون أثناء رحلة مطولة للولايات المتحدة، وعرف أبحاث الإزاحة الحمراء معرفة مباشرة من مصدرها الأول. وعندما عاد إلى أوروبا فى السنة التالية (١٩٣٢) أجرى بحثا مع دى سيتر على نموذج جديد للكون، تأسس أيضا على أحد حلول معادلات نظرية النسبية العامة. وعرف هذا النموذج بأنه نموذج أينشتين - دى سيتر، على أن من المهم أن ندرك إن هذا النموذج يختلف تماما عن النموذج الأصلى لأينشتين للكون الثابت وكذلك عن نموذج دى سيتر الأصلى للكون الذى

يتمدد أُسّيا. والمَعلم الأساسى فى نموذج أينشتين - دى سيتر هو أنه يتمدد بما يقرب جدا من أن يكون سرعة ثابتة، مع إزاحة حمراء تتناسب مع المسافة، بما يماثل تماما التمدد الذى يرى فى الكون الواقعى. ويتأسس كل «مبرر وجود» نموذج أينشتين - دى سيتر منذ البداية على الأرصاد، وذلك بخلاف الكثير من النماذج التى أوحت بها الرياضيات فى ثلاثينيات القرن العشرين.

بدأ العالمان المنظران من حقيقة أن المعلومات الوحيدة عن الكون ككل التى يمكن تعيينها تعينا مباشرا من الأرصاد المتاحة وقتها هى سرعة تمدده، وكثافته. ونحن لدينا بالفعل معرفة بسرعة التمدد - وهى الرقم الذى يعرف الآن بثابت هابل فى علاقة الإزاحة الحمراء - المسافة. أما كثافة الكون فيمكن تعيينها (كما كان يؤمل فى ١٩٣٢) بأن نقيس (أو نقدّر) عدد المجرات فى حجم معين من الفضاء، مدخلين فى حسابنا عدد النجوم فى إحدى المجرات النمطية، لنستنتج ما يكونه متوسط كثافة المادة لو أن كل المادة التى فى كل النجوم والمجرات كانت منتشرة باتساق خلال الفضاء.

كان من الأمور الرئيسية التى اهتم بها الرياضيون طبيعة انحناء المكان التى تتيحها (أو فى الحقيقة تتطلبها) نظرية النسبية العامة. وكان هناك احتمالان واضحان. إما أن المكان (أو الزمكان) نفسه يمكن أن يكون له انحناء موجب (ما يماثل فى الأبعاد الثلاثية - أو

الرباعية - طريقة انحناء سطح الكرة ليدور على نفسه)، أو أنه يمكن أن يكون له إنحناء سالب (وهذا مفهوم أصعب هونا فى تصوره، ولكنه يشبه نوعا شكل السرج، الذى ينجنى بعيدا وللخارج، إنحناء يستمر من حيث المبدأ إلى الأبد). وينشأ عن كل من هذين البديلين عائلة بأسرها من النماذج الكونية المختلفة التى تتمدد (مثلا) بسرعات مختلفة. إلا أننا نجد فى كل حالة أن كل أفراد إحدى العائلتين يتشاركون فى معلم مشترك. فالعائلة الأولى من الاحتمالات تطابق مجموعة من الأكوان يتمدد كل منها لزمن، ولكن الجاذبية فى كل منها تتغلب فى النهاية على التمدد وتجعل الكون يتقلص ثانية، ربما مع «ارتدادة» عند كثافة عالية جدا. والعائلة الثانية من الاحتمالات تطابق مجموعة من الأكوان يتمدد كل منهما للأبد، حتى وإن كان التمدد سيصبح أبطأ وأبطأ بمرور الزمن. ولأسباب واضحة فإن نوع الكون الأول يقال عنه أنه «مقفل»، ويقال عن النوع الثانى أنه «مفتوح».

إلا أن هناك احتمالا واحدا آخر، هو حالة خاصة، أو حل فريد لمعادلات أينشتين. كان أينشتين أصلا يحاول العثور على حل فريد، وقد وجد الآن هذا الحل الفريد وهو يعمل مع دى سيتر. تساءل العالمان عما يحدث إذا أمكن أن تثبت قيمة الثابت الكونى عند الصفر، وهل يمكن أيضا أن يثبت الانحناء عند الصفر، بما يؤدى إلى تبسيط المعادلات تبسيطا أكبر. وهذا يطابق ما يسمى بالمكان (أو الزمكان) المسطّح، وهو ما يرادف رياضيا السطح

المسطح لصفحة ورق وضعت فوق مكتب. والوجه المغرى فى هذا النموذج (وخاصة بالنسبة لأينشتين) كان (ولا يزال) فى أنه إذا عرفت سرعة التمدد (من قياس علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة)، فسيكون هناك فقط إحتمال واحد لنموذج أينشتين ـ دى سيتر ـ أى أنه نموذج فريد. وهذا يطابق حقيقة أن هناك طرائق كثيرة لثنى وتجعيد صفحة الورق، ولكن ليس هناك غير طريقة واحدة يمكن بها أن توضع صفحة ورق مسطحة ناعمة فوق المكتب. وبلغة التمدد، فإن هذا يناظر كونا يتمدد بسرعة تتناقص أبدا، حتى يحدث فى مستقبل بعيد جدا جدا أنه يبقى متلكئا فى حالة من توازن رهيف، فلا يتمدد ولا يتقلص. وهذا هو نموذج أينشتين ـ دى سيتر. وهو لا يكون ممكنا إلا إذا كان لكثافة الكون قيمة حرجة معينة، بحيث أن قوة الجاذبية (التى تحاول إيقاف التمدد) توازن بالضبط المعدل الفعلى للسرعة التى يتمدد بها الكون. وما إن يعرف معدل سرعة التمدد فى نموذج أينشتين ـ دى سيتر، حتى يصبح فى الإمكان حساب الكثافة، وقد توصل العالمان (باستخدام القيمة الأصلية لثابت هابل التى تزيد بالكاد عن ٥٠٠ كم/ثانية للميجا فرسخ) إلى رقم للكثافة يبلغ بالضبط ٤×١٠^{-٢٨} جرام فى كل سنتيمتر مكعب من الفضاء. وهذا حقا رقم قريب قربا وثيقا من الرقم التقريبى الذى نحصل عليه عندما نحصى النجوم والمجرات ونقدر الكثافة الفعلية لكوننا. وتبلغ التقديرات الحديثة للكثافة الحرجة رقما أقل هونا (لأن التقديرات الحديثة لثابت هابل

أصبحت أصغر، لأسباب ستتضح لنا فيما بعد)، فهي بين $١٠^{-٢٩}$ و $٢×١٠^{-٢٩}$ جرام في السنتيمتر المكعب، وهذا يناظر حوالي ذرة واحدة من الهيدروجين في كل مليون سنتيمتر مكعب، لو كانت كل الذرات موزعة في تساو خلال الفضاء.

يمثل نموذج أينشتين ـ دي سيتر بطرائق كثيرة أبسط حل للمعادلات الكونية لنظرية للنسبية العامة (على الأقل، أبسط حل فيه أي مما يبدو مماثلا للكون الواقعي)، وقد أصبح لهذا السبب النموذج المعياري الذي يمكن أن تُختبر الأفكار إزاءه. ولا يعني هذا أنه يُقر به كتوصيف نهائي للكون الفعلي، وإنما الأحرى أنه علامة قياس يمكن أن تقارن إزاءها الطريقة التي يعمل بها الكون الواقعي. وكمثل، فعندما بدأت أرصاد الكون الواقعي تطرح في خمسينيات القرن العشرين وما بعدها، أن المادة المرئية في كل النجوم والمجرات لا يمكن أن تكون كافية لجعل الكون الواقعي مسطحا بهذا المعنى، كانت الطريقة المعتادة لتوصيف ذلك هي بلغة من الكثافة الحرجة التي تظهر في نموذج أينشتين ـ دي سيتر. وبدلا من الحديث بلغة الجرامات في كل سنتيمتر مكعب، أو الذرات في كل مليون سنتيمتر مكعب، يتحدث علماء. للكونيات عن الكثافات الكونية بأنها ٠,١ أو ٠,٣ من الكثافة الحرجة، أو أيا ما يكون الرقم الملائم.

إلا أنه كان ثمة أمر واحد تجنب أينشتين ودى سيتر بحرص مناقشته فى ورقة بحثهما فى ١٩٣٢، هو ما يدل عليه نموذجهما من وجود بداية معينة للكون، عند زمن محدد فيما مضى. وكانا بالطبع على وعى بمشكلة العمر- ودى سيتر بالذات كان له دور نشط فى الخلاف، وكان يحاج فى أوراق بحث أخرى بأن الكون يجب أن يكون أكثر عمرا من البلايين المعدودة من السنين التى يدل عليها تفسير هابل الأصلى لعلاقة الإزاحة الحمراء- المسافة. ولم تظهر أى أشارة لذلك فى ورقة بحثهما. على أننا نجد بالنسبة للأجيال اللاحقة من علماء الفلك أن أحد أكثر المعالم جاذبية فى نموذج أينشتين- دى سيتر هو أنه يعطى علاقة بسيطة جدا لحساب عمر الكون. عمر الكون فى هذا النموذج هو فحسب ثلثا العمر الذى يحسب بافتراض أن الكون ظل يتمدد دائما منذ البداية بنفس معدل السرعة الذى نراه الآن، (وهو عمر يعرف بأنه زمن هابل، ودعنا نتذكر أنه يحسب بقسمة العدد واحد على قيمة ثابت هابل). وسبب ذلك أن الكون كان يتمدد بسرعة أكبر عندما كان أصغر سنا، وبالتالى فقد استغرق للوصول إلى وضعه الحالى زمنا أقل مما كنا سنحسبه باستخدام الأرصاد الحالية لعلاقة الإزاحة الحمراء- المسافة (وبالطبع فقد أبطأ تمدد الكون لسبب بسيط هو تأثير الجاذبية). ولو طرحنا الأمر بطريقة أخرى، فإن «ثابت» هابل كان فى الماضى أكبر، وهذا هو السبب فى أنه يسمى أحيانا (معلمة) هابل، بحيث يعنى مصطلح (ثابت) هابل أنه قيمة (معلمة) هابل فى الوقت الحالى.

وبالتالى، فإنه لا يوجد إلا مدى ضيق نوعا للأعمار المحتملة للنماذج الكونية المختلفة، بشرط أن يكون الثابت الكونى صفرا. ويعطينا نموذج أينشتين - دى سيتر أدنى حد لعمر الكون، وهو فحسب ثلثا الحد الأقصى، الذى نحصل عليه بأن نفترض أن التمدد ظل يجرى دائما بالمعدل نفسه (بل إنه يمكن أن تنتج أعمار أقصر إذا كان فى الكون مادة أكثر كثيرا، تجعله كونا مغلقا، على أنه لا توجد مطلقا أدلة على هذا). يوفر لنا هذا مثلا جميلا لبساطة وقوة نموذج أينشتين - دى سيتر، على أنه لا يكاد يوجد ما يثير أى عجب من أن هذين العالمين للكونيات بلغ بهما الحرج ألا يناقشا الأمر فى ورقة بحثهما فى ١٩٣٢، والسبب هو أن هذا يعنى أنه إذا كان الكون الواقعى مسطحا حقا ويوصّفه نموذج أينشتين - دى سيتر، وإذا كان تحديد هابل لعلاقة الإزاحة الحمراء - المسافة تحديدا صائبا، سيكون عمر الكون فحسب ١,٢ بليون سنة، وهو ما يصل بالكاد إلى ثلث أدنى حد لعمر الأرض كما كان ثابتا وقتها بصورة راسخة.

قد تكون أحد الحلول لهذا اللغز هو أن يُطرح أن ثمة خطأ ما فى تحديد هابل لعلاقة الإزاحة الحمراء - المسافة، ولكن هذه الفكرة لم تلق وقتها تأييدا واسعا. على أنه كان هناك دليل آخر على وجود شئ ما فيه شذوذ فى مقياس هابل للكون، وكان هناك على الأقل عالم فلك واحد واثق بما يكفى، ومستقل فى رأيه بما يكفى لأن يشير إلى ذلك. فعندما كان هابل ومن خلفوه يقيسون المسافات إلى

المجرات الأخرى، فإنهم كانوا يحصلون أيضا على معلومات عن حجمها. وستبدو المجرة الصغيرة والقريبة جدا من مجرة درب التبانة فى الكون وكأن حجمها فى السماء أكبر من مجرة كبيرة وبعيدة بعدا كبيرا - تماما مثلما يحدث عندما يقف طفل بجوار الواحد منا فيبدو أكبر من شخص بالغ يقف على الجانب الآخر من ملعب كرة قدم، وهذه ظاهرة منظور بسيطة جدا مألوفة فى الحياة اليومية. وتدل المسافات التى كشف عنها هابل نفسه على أن المجرات الأخرى اللولبية (أو السدم) التى درسها فيما يتجاوز درب التبانة، هى حقا صغيرة نوعا، وأقرب نوعا إلينا. وينعكس ذلك فى كبر القيمة التى وجدها لثابت هابل. وإذا كان ثابت هابل كبيرا بما يصل إلى ٥٠٠ كم/ثانية فى الميجا فرسخ، فإن قياس إزاحة حمراء من ٥٠٠ كم/ثانية سيناظر حقا مسافة من ميجا فرسخ واحد. أما إذا كانت قيمة ثابت هابل هى فقط ١٠٠ كم/ثانية فى الميجا فرسخ (مثلا)، فإن قياس إزاحة حمراء من ٥٠٠ كم/ ثانية سيكون مما يناظر مسافة من ٥ ميجا فرسخ، وإذا كانت إحدى المجرات تبعد عنا بخمسة أمثال، فسيلزم أن تكون أكبر بما يناظر ذلك من حيث قطرها الخطى الفعلى حتى تبدو بالحجم الذى تبدو به فى السماء من حيث قطرها الزاوى.

وبالطبع فقد قاس هابل بالفعل المسافات مستخدما القيفاوسيات وتكنيكات أخرى، حتى يعاير علاقة الإزاحة الحمراء - المسافة. على أن الهدف كله من هذه التجربة هو أن يتمكن هابل، بمجرد

أن يعاير هذه العلاقة، من أن يستخدمها كوسيلة لتحديد المسافات إلى المجرات الأخرى بأن يقيس إزاحاتها الحمراء. فالإزاحة الحمراء والمسافة مرتبطان ارتباطا لا ينفصم فى بحث مقياس مسافة الكون، وتحديد القياسات الخطية الحقيقية للمجرات الأخرى. القيمة المرتفعة للثابت الذى يحمل اسم هابل الآن تسير يدا بيد مع ما يسمى مقياس المسافات القصير، ومع فكرة أن المجرات الأخرى أصغر كثيرا من درب التبانة بحيث أنه يجب أن تعتبر مجرتنا كقارة كبيرة، بينما اللولبيات الأخرى لا تزيد عن مجرد جزر عند الشاطئ.

كانت هذه فكرة معقولة تماما عند نهاية عشرينيات القرن العشرين، ويبدو أن معظم علماء الفلك قد تقبلوها دون إرتياب. على أنه كما سبق أن ذكرت، كان هناك استثناء واحد بارز ـ وهو أرثر إدنجتون العالم الرائد فى الفيزياء الفلكية وفى النسبية.

كان إدنجتون يتمسك دائما بوجهة النظر التى تقول أنه ليس هناك أى شئ خاص فيما يتعلق بالمكانة التى نحتلها نحن البشر فى الكون (أصبح هذا يعرف فى زمن أحدث كثيرا، أى فى تسعينيات القرن العشرين، بأنه «مبدأ المكانة العادية للأرض» ـ فنحن نعيش فى جزء عادى من الكون). ويحاج إدنجتون بأنه إذا كان هناك شئ مهم فى هذه الفكرة، فهو أن مجرتنا التى نسكن فيها لا يمكن أن تكون لها أهمية على وجه الخصوص. ويكتب إدنجتون فى كتابه «الكون المتمدد» الذى نشر فى وقت مبكر يرجع إلى ١٩٣٣ ليقول:

«كثيرا ما نتلقى من علم الفلك درس التواضع بحيث أننا (يعنى أنا) نكاد تلقائيا نقر بالرأى القائل بأن مجرتنا ليس لها أى تميز خاص - فهى فى مخطط الطبيعة لا تزيد أهمية عن الملايين الأخرى من جزر المجرات. إلا أنه يبدو أن أعمال الرصد الفلكى لا تكاد تقر بذلك. وسنجد حسب القياسات الحالية أن السدم اللولبية، هى وإن كانت تحمل مشابهة عامة لمنظومة مجرتنا درب التبانة، إلا أنها أصغر منها على نحو واضح. ومما يقال أنه إذا كانت السدم اللولبية جزرا، فإن مجرتنا نحن قارة. وأنا أفرض أن ما لدى من تواضع قد أصبح نوعا من كبرياء الطبقة المتوسطة، ذلك أنى أميل إلى كره ما يعزى لنا من أننا ننتمى إلى أرستقراطية الكون. فالأرض كوكب من الطبقة المتوسطة، وليست كوكبا عملاقا مثل المشترى، كما أنها ليست إحدى الكائنات الأصغر مثل الكواكب الصغرى. والشمس نوع متوسط من النجوم، فهى ليست عملاقة مثل كابلاً (العيّوق) ولكنها تعلو تماما فوق الأنواع الأدنى. وبالتالى فإنه يبدو من الخطأ القول بأننا فيما ينبغى ننتمى إلى مجرة متميزة تماما. وأنا صراحة لا أعتقد ذلك، سيكون فى ذلك صدفة أكثر مما يجب. وأعتقد أن هذه العلاقة بين درب التبانة والمجرات الأخرى هى موضوع ستؤدى أبحاث الرصد فيما بعد إلى أن تلقى عليه مزيدا من الضوء، وأننا سنجد فى النهاية أن هناك مجرات كثيرة من حجم يساوى أو يفوق حجم مجرتنا».

كانت هذه تعليقات فيها تبصر مذهل حيث قالها إدنجتون فى زمن يقل عن عشر سنوات بعد إثبات هابل الحاسم بأن السدم اللولبية هى فى الحقيقة مجرات خارجية، كما قالها خلال عامين من ورقة البحث الكلاسيكية التى كتبها هابل وهوماسون عن علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة. ولكن إدنجتون لم يذهب إلى مدى بعيد بحيث يطرح أنه ينبغى اختصار ثابت هابل بعامل من عشرة (وهو الأمر الذى يلزم ليجعل المسافات إلى المجرات التى درسها هابل مسافات هائلة بحيث يكون للمجرات نفسها حجم يقارب حجم درب التبانة)، وكانت إحدى الطرائق التى يمكن أن يحل بها اللغز كما رآه إدنجتون، أن توجد لدينا تليسكوبات أكبر وأفضل لتكشف عن لولبيات أخرى حجمها مثل حجم درب التبانة وتتجاوز حشد الجزر الأصغر حجما التى تجاورنا مباشرة.

وكما قال إدنجتون، فإن مفتاح الفهم الأفضل للكون ككل هو فى أرصاد أفضل. وهذا يعنى تليسكوبات جديدة، أكبر من تليسكوب هوكر ذى المائة بوصة الذى استخدمه هابل فى بحثه الخارق. وبحلول ١٩٣٣ كان قد تم بالفعل التخطيط لإنشاء التليسكوب الذى سيتقدم بعلماء الفلك فى خطوتهم التالية للخروج إلى الكون، وهو تليسكوب خطط لإنشائه فى مرصد جديد يقام فوق مونت بالومار، إلى الجنوب قليلا من مونت ويلسون. كان هذا آخر التليكسوبات العظيمة التى كان الإلهام بها بجهد من جورج إليرى هيل (وبمهارته فى جمع التمويل اللازم)، وقد حمل التليسكوب إسمه

وإن كان هيل لم يعش ليراه وقد أصبح جاهزا للعمل فى ١٩٤٨ (وقد تأخر ضمن ما تأخر من أشياء أخرى بسبب الحرب العالمية الثانية). كان لتليسكوب هيل مرآة من مائتى بوصة، وقد صمم ليتمكن من رؤية مجرات مسافة بعدها بليون سنة ضوئية، بما يزيد من حجم الفضاء المرئى لعلماء الفلك بعامل من ثمانية، وذلك عند مقارنته بتليسكوب هوكر. وإذا تساوت كل العوامل الأخرى، فإن هذا سيتيح لعلماء الكونيات دراسة عدد من المجرات أكثر بثمانية أمثال (ولكن هذه العوامل لم تبق متساوية، فمنذ أربعينيات القرن العشرين زاد مدى وحساسية تليسكوب المائتى بوصة زيادة هائلة باستخدام كشافات الكترونية تتابع الضوء الذى تجمعه المرآة). شارك هابل فى استكمال التليسكوب الهائل، واستعمله أثناء السنوات المعدودة الأخيرة من حياته. ولكنه كان بالفعل فى الخمسينيات من عمره عندما اكتمل تليسكوب المائتى بوصة، وكان خلفه آلان سانديج هو الذى استخدم الجهاز الجديد لينقح به مقياس المسافات الكونى تنقيحا لا شك أنه كان سينال رضا أرثر إدنجتون.

والحقيقة أن أول خطوة تجاه تنقيح مقياس هابل للمسافات كانت قد اتخذت من قبل باستخدام تليسكوب هوكر القديم أثناء الوقت الذى أصبح فيه تليسكوب هيل جاهزا للعمل وهى خطوة اتخذت على نطاق غير صغير، وذلك بسبب الطريقة التى أثرت بها الحرب العالمية الثانية فى علماء الفلك فى مونت ويلسون.

لعب الدور الرئيسى فى هذه المرحلة من القصة والتر بآد، وهو عالم فلك ألمانى المولد عمره أصغر من هابل بأربع أعوام لا غير، حيث ولد فى ١٨٩٣. والواقع أن إسهامه الرئيسى فى فهمنا للمجرات ومقياس مسافات الكون قد تم على مرحلتين، عبر فترة تقرب من عشر سنين استخدم فيها تليسكوبين مختلفين فوق جبلين مختلفين بينهما حوالى ٨٠ كيلوا مترا. ولسوء الحظ فإن العلاقة بين هذين الجزئين من الأبحاث كثيرا ما كان يختلط أمرها عند وصفها فيما مضى (بما فى ذلك وصفى أنا لها، الأمر الذى أقر به فى خجل)، ولكنى سأحاول هنا تصحيح الأمر.

عمل بآد فى مرصد برجدورف بجامعة هامبورج، وبعدها هاجر فى ١٩٣١ إلى الولايات المتحدة حيث انضم إلى هيئة العاملين بمرصد مونت ويلسون فى وقت يلى مباشرة إتمام هوماسون وهابل لأول مرحلة من بحثها الذى مهد الأرض لعلاقة الإزاحة الحمراء - المسافة. كان بآد عالم فلك ممتاز، ولكن حياته الشخصية كانت أحيانا مضطربة، ولم يتوصل إلى الحصول على الأوراق التمهيدية اللازمة لأن يصبح مواطنا أمريكيا إلا فى ١٩٣٩. وسرعان ما فقد هذه الأوراق أثناء انتقاله من منزله وكان لم يتوصل إلى تجديد طلبه عندما هاجم اليابانيون بيرل هاربور فى ديسمبر ١٩٤١، وأعلنت أمريكا الحرب على ألمانيا مثلما أعلنتها على اليابان.

كان هناك وقتها خوف مفهوم (وان كان فيه شئ من الهوس) من أنه قد يتم هجوم على لوس أنجلوس من البحر، وأدى وضع بآد «كأجنبى معادى» فى منطقة حساسة عسكريا إلى أن أصبح خاضعا لحظر تجول، يتطلب بقاءه فى بيته كل ليلة من الثامنة مساءا حتى السادسة صباحاً بحيث أصبح لا يتمكن من القيام بأى أرصاد. وفى نفس الوقت كـان علمـاء الفلك الآخـرون، بما فـيـهم هابل، يتم تجنيدهم ليعاونوا فى المجهود الحربى، ولم يبق هناك سوى قلة من الأفراد يستخدمون التليسكوبات فوق مونت ويلسون. استغرق الأمر شـهـورا عـديدة لإقناع السلطات بأن بآد لا يشكل حـقـا تهـديدا للولايات المتحدة، وللموافقة على أن طلبه الأصلى للحصول على الجنسية والذى قدمه قبل الهجوم على بيرل هاربور، يبين حسن نيته. على أنه عاد فى النهاية إلى الجبل حيث كان لديه تقريبا كل ما يريد من الوقت لاستخدام تليسكوب المائة بوصة، كذلك فإنه استـفـاد لا فـحـسب من إظلام المدينة أسفله بسبب الحـرب، وإنما أستفاد أيضا من نوع جديد من ألواح فوتوغرافية أكثر حساسية كان قد أصبح متاحا وقتها بالضبط.

ومع هذه المزايا تمكن بآد من اسـتـخـدام التليسكوب ليـصـور فوتوغرافيا أجراما هى أبهت حتى من أى شئ رصده هابل. وبدأ فى التصوير الفوتوغرافى لمجرة أندروميدا [م] ٣١ بتفصيل غير مسبوق، وهو ينتقى نجوما مفردة، فى حين أن من سبقوه لم يتمكنوا إلا من الكشف عن بقع مهتزة مضببة. وكان ما اكتشفه

مكافأة رائعة لمهارته كراصد. اكتشف بآد أن مجرة أندروميدا (وبالتضمين كل المجرات اللولبية) تتكون من نوعين مختلفين من النجوم. ويقع النوع الأول الذى أسماه العشيرة I، فى الأذرع اللولبية لهذه المجرة، وتشمل أساسا نجوما زرقاء ساخنة صغيرة السن، غنية بالعناصر الثقيلة. ويقع النوع الآخر الذى سماه العشيرة II فى الجزء المركزى من المجرة اللولبية (أى نواتها) وفى عنقوديات كروية. وهى تتكون من نجوم حمراء باردة كبيرة السن لا تحوى مع الهيدروجين والهيليوم سوى مواد أخرى قليلة جدا.

وتفسر الآن هذه الأختلافات بلغة من الطريقة التى تتشكل وتتطور بها المجرات والنجوم. فعشيرة النجوم II أتت بالفعل أولا، وقد صنعت من المادة البدائية التى تخلفت عن الانفجار الكبير، وعشيرة النجوم I هى نسبيا صغيرة السن، وقد صنعت من مادة سبق معالجتها فى جيل واحد على الأقل من النجوم الأقدم. واكتشف بآد أيضا أن هناك نوعين أيضا من النجوم المتغيرة ذات الخواص القيفاوسية يصاحب النوع منهما أحد نوعى عشيرتى النجوم. وأجريت معايره لعلاقة زمن الدورة القيفاوسية ـ الضياء باستخدام قيفاوسيات تجاورنا نحن، فى أحد الأذرع اللولبية لدرب التبانة. كانت هذه نجوم من العشيرة I، وتعرف هذه القيفاوسيات الآن بأنها «كلاسيكية». وتعرف الآن المتغيرات المرادفة لها فى العشرة II بأنها نجوم دبليو فيرجينيز (W Virginis). وهناك حقا علاقة زمن دورة ـ ضياء مرادفة بالنسبة لهذه النجوم، على أن

نجوم دبليوفير جينيز تكون عموما أشحب من القيفاوسيات الكلاسيكية. وعلى عكس ما قد يقرأه القارئ فى مكان آخر، فإن هذا لم يخبر علماء الفلك وقتها (١٩٤٤) بأى شئ عن مقياس المسافات، لأن هابل كان فى الحقيقة قد استخدم القيفاوسيات الكلاسيكية الأشد نصوعا فى أبحاثه عن المسافة إلى مجرة أندروميدا. إلا أن بآد تمكن خلال سنوات معدودة أن ينقل معه كل المهارات التى شحذها وهو يعمل بتليسكوب المائة بوصة فوق ويلسون، بالإضافة إلى اللوحات الفوتوغرافية الجديدة، فنقل هذا كله إلى تليسكوب المائتى بوصة فوق مونت بالومار، حيث كان يستطيع أن يتطلع حتى إلى المجرة أندروميدا بتفصيل أكبر، ليحاول حتى أن يصور فوتوغرافيا أشحب النجوم.

كانت النجوم التى يتلهف بآد على أن يعينها بالذات فى مجرة أندروميدا هى نجوم آر آر لا يرى المتغيرة، التى سبق لنا اللقاء بها. وهذه النجوم أبهت كثيرا عن القيفاوسيات، ولكنها يمكن الاعتماد عليها كل الاعتماد كمؤشرات للمسافة. وباعتبار المسافة التى حسبها هابل لبعد مجرة أندروميدا، ينبغى أن يكون فى الإمكان الكشف عن هذه النجوم بوضوح بتليسكوب المائتى بوصة باستخدام التقنيات التى نقلها بآد من تليسكوب المائة بوصة. ولكنها لم تكن كذلك، الأمر الذى أثار هلع بآد فى أول الأمر. وتعرف نجوم آر آر لا يرى الآن بأنها من أجرام العشيرة II، وكثيرا ما توجد فى العنقوديات الكروية. تمكن بآد من رؤية العنقوديات الكروية فى

مجرة أندروميدا، ولكن لم يكن فى الإمكان رؤية آر آر لا يرى كنجوم منفردة. وحتى مع استخدام تليسكوب المائتى بوصة وكل الحيل التى تعلمها بآد فيما مضى فى مونت ويلسون، فإنه لم يكن من الممكن رؤية أى نجوم بتحدد واضح فى العنقوديات الكروية فى مجرة أندروميدا إلا إذا كانت من أنصع النجوم جد الناصعة من العشيرة II. وكان علماء الفلك يعرفون من قبل من دراسة العنقوديات الكروية فى مجرتنا نحن، كيف تكون بالضبط تلك النجوم الحمراء العملاقة الأنصع فى العشيرة II أشد نصوعا من نجوم آر آر لا يرى. وحسب الوحدات التى يستخدمها علماء الفلك، فإن النجوم التى استطاع بآد أن يراها محددة بالكاد كان نصوعها أكثر بقدر ١,٥ مرتبة عن نجوم آر آر لا يرى التى كان يتوقع أن يتمكن من رؤيتها بالكاد. والتفسير الوحيد لذلك هو أن معايرة مقياس المسافة كانت كلها خطأ بنفس المقدار، وأن القيفاوسيات الكلاسيكية نفسها كانت أنصع بقدر ١,٥ مرتبة عما سبق تقديره، بما يجعل موضع مجرة أندروميدا أبعد كثيرا مما كان يعتقد.

كان الخطأ فى المعايرة، يرجع مباشرة إلى أبحاث شابلى على مقياس المسافة القيفاوسى، والتى سبق نشرها فى ١٩١٩، أى قبل ثلاثين عاما من أبحاث بآد بتليسكوب المائتى بوصة. وثبت فى النهاية أنه كانت هناك توليفة من العوامل تآمرت لتخدع شابلى، هو وكل واحد آخر فى وقتها، وهى وجود الغبار فى درب التبانة وحقيقة أن هناك نوعين من القيفاوسيات. وبالطبع فقد استخدم

شابلى تقريبا كل نجم قيفاوسى لديه أى معلومات عنه فى استنباط قيم مسافاته ونصوعاته ليحدد علاقة زمن الدورة - الضياء، وبعض هذه النجوم (كما نعرف الآن) كانت قيفاوسيات من العشيرة I فى قرص درب التبانة، بينما كان البعض الآخر قيفاوسيات من العشيرة II فى عنقوديات كروية. وقيفاوسيات العشيرة I («الكلاسيكية») أكثر نصوعا، كما اكتشف بآد فى ١٩٤٤. إلا أن هناك غبار أكثر فى مستوى درب التبانة، مما يجعل تلك النجوم تبدو أبهت مما هى عليه فى الحقيقة، بينما تتم رؤية قيفاوسيات العشيرة II (نجوم دابليو فيرجنيز) فوق وتحت مستوى درب التبانة، وبالتالى فإنها أقل إعتاما بالغبار. وكنتيجة لصدفة مؤسفة كان إعتام القيفاوسيات الكلاسكية فى عينات شابلى كافيا بالضبط لأن يجعلها تضاهى فى نصوعها الظاهرى نجوم دابليوفير جينز الأبهت. وكان هابل فى الحقيقة يتطلع إلى القيفاوسيات الكلاسيكية فى مجرة أندروميدا - إلا أن المعايرة التى استخدمها لنصوعها (علاقة زمن الدورة - الضياء) كانت فى الواقع المعايرة الصحيحة تقريبا لنجوم دابليو فيرجينيز الأبهت.

وبهذا فإن النجوم التى استخدمها هابل لتقدير المسافة إلى مجرة أندروميدا كانت فى الواقع أنصع تقريبا بمثلين مما كان يعتقد. وحيث أن هذا القياس كان مفتاح الطريقة التى استخدمها هابل فى شق طريقة خلال الكون، معايرا نصوع أجرام أخرى (مثل النجوم المتفجرة، أو عنقوديات كروية بأكملها) باستخدام ما اعتقد أنه

مسافة بعد مجرة أندروميدا، فإن هذا يعنى أن كل المسافات التى استنتجها هابل يلزم (فى النهاية) مضاعفتها. وهذا يعنى أن المجرات كلها أكبر مما كان هابل يعتقده، بينما الكون يبلغ عمره ضعف ما يدل عليه تقدير هابل الأول لعلاقة الإزاحة الحمراء- المسافة.

هكذا اكتشف بآد أن مقياس المسافة يجب فى الواقع أن يضاعف، بما يجعل موضع مجرة أندورميدا على مسافة حوالى ٦٠٠٠٠٠ فرسخ (حوالى مليونى سنة ضوئية) بدلا من ٢٠٠٠٠٠ فرسخ (٨٠٠٠٠٠ ضوئية) كما حدده هابل، وأُعلن اكتشاف بآد رسميا فى ١٩٥٢ فى اجتماع بروما. وقد اختصر هكذا القيمة المتفق عليها لثابت هابل من مقدار يزيد عن ٥٠٠ كم/ ثانية فى الميجا فرسخ لمقدار يبلغ فحسب ٢٥٠ كم/ ثانية فى الميجا فرسخ (من الآن فصاعدا، سأذكر فقط رقم الثابت وأهمل الوحدات المفهومة للقارئ)، بما يدفع العمر المثبت للكون وراء بعد أن كان حوالى ١,٨ بليون سنه ليصبح حوالى ٣,٦ بليون سنة، ويجعل للكون عمرا يقارب العمر المعروف وقتها للأرض. وسرعان ما تأكد هذا التصحيح لمقياس مسافة الكون (وعمره) بما أُجرى من أرصاد (فى حدود ما هو متاح وقتها من تكنولوجيا التليسكوبات) على متغيرات آر آر لا يرى فى السحابة الما جلانية الصغرى، التى ثبت أيضا فى النهاية أنها أشحب من المتوقع بمقدار ١,٥ مرتبة (وذلك من حيث المرتبة الظاهرية)، بما يجعل موضع هذه النجوم

على مسافة أبعد بما يناظر ذلك عن المسافة التى حددتها معايرة شابلى القيفاوسية لهذه السحابة. أبرزت عناوين الصحف حقيقة أن حجم الكون قد «تضاعف»، حيث أن إعادة معايرة ثابت هابل كانت تعنى أن كل المسافات المستنتجة من الإزاحات الحمراء هى أكبر بالضعف عما كان يعتقد.

ولكن حيث أننا نقدر الآن أن أكبر النجوم سنا يبلغ عمرها ما يزيد تماما عن عشرة بلايين عام، فإن القارئ ربما سيتعجب من سبب سرور علماء الكونيات فى ١٩٥٢ من أنهم رفعوا تقديرهم لعمر الكون إلى ما يصل فقط إلى حوالى أربعة بلايين عام (وهذا فى الواقع أقل هونا من العمر المقدر للشمس وقتها) . على أن هذا العمر الجديد للكون كان فيه ما زاد من عودة الثقة بالنفس لعلماء الفلك فى أوائل خمسينيات القرن العشرين بأكثر مما قد يظنه المرء عند التبصر وراء فيما قد حدث، وذلك لأنهم فى ذلك الوقت كانوا لا يعرفون بالضبط كم يكون عمر النجوم. وعندما بدأ علماء فيزياء الفلك النجمية يطرحون أرقاما لأعمار النجوم أعلى من خمسة بلايين عام فى خمسينيات وستينيات القرن العشرين، كان خليفة هابل يستخدمُ تليسكوب المائتى بوصة ليدفع العمر المعروف للكون وراء بمقدار يماثل ذلك على وجه التقريب، بحيث أن أى تحسينات فى التكنولوجيا وفى قوة الرصد كانت كلها تقريبا تؤدى إلى مزيد من تصحيح ثابت هابل فى اتجاه خفضه.

وُلد آلان ســانديج فى ١٩٢٦، بعــد أن أوضح هابل أن الســدم اللولبية هى مجــرات خـــارجية، ولكـــن قبل أن يكتشف هابل وهو ماسون علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة. ثار اهتمام سانديج بعلم الفلك عندما بلغ التاسعة، وذلك بعد أن تطلع خلال تليسكوب أحد أصدقائه، وقرأ بعدها بسنوات معدودة كتاب هابل الكلاسيكى «عالم السدم» الذى وصفت فيه الاكتشافات الجديدة العظيمة الكونية بلغة يتاح فهمها حتى لمن كان فى العشريات من عمره. انقطع سانديج عن دراسته لتجنيده فى أسطول الولايات المتحدة لثمانية عشر شهرا عند نهاية الحرب العالمية الثانية، إلا أنه تخرج من جامعة إلينوى ١٩٤٨. وكان من اهتمام سانديج بعلم الفلك وهو فى الينوى، أن أدى به ذلك إلى الانضمام إلى فريق صغير من الهواة المتفانين الذين يجرون مسحا للسماء نظمه بارت بوك بجامعة هارفارد. وكان المسح يتطلب تصويرا فوتوغرافيا لمناطق مخصوصة فى السماء، وتحميض الألواح، واستنتاج مراتب كل النجوم التى تقع فى قبضة الصور الفوتوغرافية. كان بحثا شاقا مجهدا، ولكنه فتح الطريق لسانديج ليصبح وريث هابل.

قدم سانديج طلبا فى ١٩٤٨ لإجراء بحث فى الفيزياء فى معهد كاليفورنيا التكنولوجى (كالتك)، فى مكان أقرب ما يمكن إلى تليسكوب المائة بوصة المشهور فوق مونت ويلسون، وإلى تليسكوب المائتى بوصة الجديد، وذلك على أمل أنه قد يتمكن فيما بعد من الانضمام إلى علماء الفلك هناك. على أنه حدث بما أسعده أن بدأ

معهد كالتك فى تلك السنة أول برنامج له لدكتوراه الفلسفة فى علم الفلك، وذلك على وجه الخصوص ليفى بما هو متوقع من طلب على أفراد يجرون أبحاثا باستخدام التليسكوبين الكبيرين معا، وتم اختيار سانديج كواحد من أول خمسة طلاب أدرجوا فى البرنامج. وقضى سانديج سنة درس فيها أساسيات الفيزياء الفلكية (التى كان يعلّمها أساسا جيس جرينشتين)، وبعدها اختير سانديج فى صيف ١٩٤٩ لمساعدة هابل فى آخر مشروعاته، وهو محاولة تحديد المصير النهائى للكون من انحناء المكان.

لم يكن هذا المشروع يتطلب إسهام سانديج مباشرة فى العمل بتليسكوب هيل العظيم ذى المائتى بوصة، فهو مثل كل التليسكوبات الكبيرة له مجال رؤية ضيق جدا. فهو ممتاز فى تركيز بؤرته على أجرام شاحبة فى رقعة صغيرة من السماء، ولكنه لا يفيد فى التصوير الفوتوغرافى لمنطقة عريضة من السماوات فوق لوح واحد. فهذا النوع من أبحاث المسح يختص به نوع أخر من التليسكوبات، هو كاميرا شميدت التى أخترعها الإستونى برنارد شميدت فى ثلاثينيات القرن العشرين. كان لدى مرصد بالومار كاميرا شميدت لها فتحة من ٤٨ بوصة (١,٢ م)، يمكنها أن تصور فوتوغرافيا منطقة تغطى ٤٠ درجة مربعة فوق لوح واحد، وللمقارنة؛ فإن مجال الرؤية لتليسكوب تقليدى هو نمطيا نصف درجة وحسب فى العرض (٣٠ دقيقة من القوس). وهكذا فإن كاميرا شميدت هذه يمكنهاأن تصور فوتوغرافيا آلافا

وآلافا من المجرات، وكان هناك ألواح كثيرة من أبحاثها فى المسح متاحة من قبل. واستنتج هابل أنه حتى بدون أن يقيس الإزاحات الحمراء لكل مجرة يستطيع تصويرها فوتوغرافيا بتليسكوب المائتى بوصة، فإن المجرات الأشحب ينبغى أن تكون على مسافة أبعد منا، وكان هذا، هو ومسح مناطق الكون المجاورة الذى تقوم به كاميرا شميدت فى بالومار، كلاهما معا يؤلفان المفتاح الذى يأمله لفتح مغاليق مصير الكون.

فإذا كان المكان مسطحا، بالطريقة التى وصفتها فيما سبق، فإن أحجام الفضاء المتساوية التى يكون الراصد فى المركز منها ينبغى أن تحوى فى المتوسط عددا متساويا من المجرات. والأمر وكأن الواحد منا يقف فى غابة فوق أرض مسطحة، ويحصى عدد الأشجار الموجودة فى دوائر متتابعة من الأرض المحيطة به تتزايد كبرا - سيكون من المتوقع أن نجد أن عدد الأشجار فى دائرة مساحتها ٢٠٠ متر مربع يكون ضعف ما يوجد فى دائرة مساحتها مائة متر مربع. أما إذا كان المكان منحنيا (بما يرادف أن تكون غابتنا إما فوق قمة تل أو عند قاع أحد الوديان)، فسنجد عندها أن الأشجار تكون أما أكثر أو أقل من المتوقع كلما نظرنا لأبعد وأبعد.

كانت خطة هابل فى النهاية هى أن يسبر بهذه الطريقة مدى انحناء أبعد آفاق الكون، مستخدما تليسكوب المائتى بوصة، ومحصيا عدد المجرات فى حجم معين من الكون، بدلا من عدد

الأشجار في مساحة معينة من الغابة. ولكنه حتى يستطيع إجراء المقارنات اللازمة كان يحتاج قبلها إلى إحصاء دقيق لعدد المجرات في الجزء الخاص بنا من الكون، كعلامة قياس يمكن أن يقارن بها أعداده التي يحصيها على المدى البعيد. وهنا يفد إلينا سانديج هو وألواح شميدت. كان سانديج بما لديه من خبرة في إحصاء عدد النجوم ذات المراتب المختلفة في مسح بارت بوك، هو المرشح المختار الواضح ليعهد إليه بمهمة عد المجرات ذات المراتب المختلفة فوق ألواح شميدت التي سيحصل عليها في مونت بالومار، حتى يوفر القياس الأساسي لعدد المجرات في الحيز المحلي للكون. وما إن شارف سانديج على أن يخطو ليسير في المشروع حتى عانى هابل من نوبة قلبية في يوليو ١٩٤٩، ومنعه طبيبه من ارتقاء الجبل أثناء تعافيه من المرض. وطرح المشروع جانبا، وأرسل سانديج (وزميله الطالب هالتون آرب) إلى مونت ويلسون ليتعلما الرصد من والتر بآد، الذي كان وقتها خبيرا يقر بخبرته. (فيما بعرض، ثبت في النهاية أن الكون جد قريب من أن يكون مسطحا بحيث أنه على الرغم من جهود الراصدين البطولية عبر نصف القرن الأخير، بما في ذلك جهود سانديج، إلا أنه ما زال من المستحيل أن نعرف عن طريق إحصاءات عدد المجرات وحدها، إن كان الكون مفتوحا بالكاد أو مقفولا بالكاد، أو هو على وجه الدقة مسطح).

كـان البـحث الذى يسـهم فـيـه الآن سـانديج وآرب هو التـصـوير الفوتوغرافى للعنقوديات الكروية، وتحليل الضوء الآتى من نجومها المفردة. وبدأ الطالبان باستخدام تليسكوب الستين بوصة، الذى كان يعد منذ ما يزيد قليلا عن ثلاثين عاما أفضل تليسكوب فى العالم، ولكن مكانته أنزلت الآن إلى مرتبة جهاز ملائم للمبتدئين. على أنه حتى مع ذلك، كان ما زال ينفذ أبحاثا مهمة (وهو ما زال حقا يفعل ذلك حـتى الآن، ولكن بصـورة مـتواضـعـة). ثم تقـدم بهمـا الحـال إلى مـيكروسكوب المائة بوصـة. وأثبت سـانديج عند كل مـرحلة أنه راصـد ممتـاز ـ وقـد شكل بحـثـه هذا على العنقـوديات الكروية والفيزياء الفلكية للنجوم أساس أطروحته للدكتوراه. كان سانـديج هو الذى وجد فى ١٩٥٢، من دراسته للعنقودية الكروية إم ٣، موضع الانعطاف فى التتابع الرئيسى الذى سرعان ما أصبح طريقـة أسـاسيـة لقيـاس أعـمـار هذه العنقـوديات. (أنظر الفصل الثانى).

أصبح سانديج فى ١٩٥٠، إلى جانب بحثه للدكتوراه، مساعدا لهـابل، ينفذ برنـامج الرصـد على تليسكوب المائتى بوصـة، وهو البـرنامج الذى صـمـمـه هابل، ولكن هذا الرجل العظيم لم يعد بعد قادرا على إكماله بنفسه (وإن كان قد سمح له بالعودة إلى الجبل وبأن يقوم ببعض الأرصاد إبتداء من اكتوبر ١٩٥٠ وما بعدها). كانت هذه أوقات مثيرة فوق الجبل. فبآد يجرى بحثه الذى سيؤدى به إلى تصـحيحـه الدرامى لمقيـاس المسافة، أما هو مـاسون، الذى

عّرف سانديج بتليسكوب المائتى بوصة، وإن كان سيبلغ هو نفسه الستين فى ١٩٥١، إلا أنه كان يكسر الأرقام القياسية ببحثه على الإزاحة الحمراء بالتليكسوب، مسجلا إزاحات، حمراء تناظر سرعات أكبر من خُمس سرعة الضوء؛ وكان سانديج، طالب ما بعد التخرج، يواصل بحث هابل، ويستكشف وجود نجوم متغيرة فى المجرات الشاحبة ويحاول أن يعثر على درجات جديدة فى السلم تعطى مسافات فى الكون تمتد لأبعد مما سبره أى فرد.

فى ١٩٥٢، عندما كان سانديج على وشك استكمال بحثه للدكتوراه (وهى الدرجة التى نالها بالفعل فى ١٩٥٣)، عرض عليه منصب فلكى مساعد فى المرصد. ووافق على الوظيفة، ولكنه أخذ فى التو سنة يقضيها بعيدا عن كاليفورنيا ليعمل مع مارتن شوارتز تشايلد فى برنستون، حول دلالات اكتشاف انعطاف التتابع الرئيسى فى العنقوديات الكروية بالنسبة لتطور النجوم. وباستخدام الات حاسبة لا تزيد إلا قليلا عن ماكينات الجمع الميكانيكية المجيدة، أمكنهما أن يستنتجا لأول مرة طريقة تطور نجم كالشمس أثناء زمن حياته فى التتابع الرئيسى، وأن يستنتجا متى يبدأ نجم له كتلة معينة فى أن يصبح عملاقا أحمر. ووجدا أن الحد الفاصل فى إم ٣ يطابق عمرا يزيد هونا عن ثلاثة بلايين عام. ولكن ما أن يترك أحد النجوم التتابع الرئيسى، حتى تصبح الأمور معقدة.

أكثر تعقيدا من أن يتم حسابها باستخدام «الكمبيوترات» المتاحة وقتها. وبالتالى كان هذا أقصى ما يمكن أن يصل إليه البحث، وعاد سانديج إلى كاليفورنيا ليشغل وظيفته الجديدة.

ما كاد سانديج يعود إلى كاليفورنيا (متوقعا أن يواصل بحثه على العنقوديات الكروية وتطور النجوم) حتى عانى هابل فى سبتمبر ١٩٥٣ من سكته دماغية ومات، وكان برنامج هابل الجديد عن المسح الكونى لم يبدأ إلا بالكاد، ولم يكن هناك أحد قد مر عليه بعد الوقت الكافى لاستيعاب تصحيح بآد لمقياس المسافة. وورث سانديج مهمة إنهاء العمل الذى بدأه هابل، حتى وإن كان يتوقع أن ينفذ بحثا على تطور النجوم. وكما ذكر فيما بعد للمؤرخ العلمى الان لا يتمان فإنه قال:

«أحسست بمسئولية هائلة لأن أواصل بحث مقياس المسافة. كان هو قد بدأه، وكنت أنا الراصد وكنت أعرف كل خطوة فى العملية التى أرسى خطتها. كان من الواضح أنه حتى يمكن الاستفادة من اكتشاف والتر بآد للخطأ فى مقياس المسافة، فإن هذا سيقضى بذل ١٥ أو عشرين عاما، وكنت أعرف وقتها أن الأمر سيستغرق كل هذا الزمن الطويل. وبالتالى، قلت لنفسى، (هذا أمر يجب أن أفعله)، وإن لم أفعله أنا فلن يفعله أحد وهو يستغرق مثل هذا الزمن. لم يكن هناك تليسكوب آخر، وكان يوجد وحسب ١٢ فردا يستخدمونه، ولا أحد منهم قد شارك فى هذا المشروع. وبالتالى كان علىّ أن أفعله كما تقتضى المسئولية».

شرع ساندیج أثناء الخمسينيات فى إعادة معايرة كل خطوة فى سلسلة المسافات التى استخدمها هابل. ولنتذكر أن هذه الخطوات تعتمد على أشياء مثل تحديد متوسط نصوع أنصع النجوم، أو أنصع العنقوديات الكروية، التى توجد فى أنواع معينة من المجرات، وكذلك متوسط نصوع أنصع المجرات التى توجد فى عنقوديات من المجرات، وهلم جرا. وكانت كل هذه الأرصاد تعانى من آفة الحاجة إلى أن يدخل فى الحساب تصحيح إخماد الضوء بالغبار فى الفضاء (أى ليس فقط الغبار في مجرتنا، وانما الغبار فى المجرات البعيدة موضع البحث).

كان كل تصحيح يطبقه ساندیج یخفض قيمة ثابت هابل. واكتشف ساندیج فى ١٩٥٨ أكبر غلطة واحدة فى سلسلة البراهين التى أستخدمها هابل (ولم يكن هذا خطأ من هابل ـ فقد كان يبذل أقصى ما يمكن بتليسكوب المائة بوصة، بينما كان ساندیج یعمل بتليسكوب المائتى بوصة). كانت إحدى الخطوات الأساسية فى كل هذا البحث هى تحديد المسافة إلى مجموعة عنقودية كبيرة من المجرات فى اتجاه كوكبة فيرجو «العذراء» (وإن كانت تتجاوزها بعيدا) وبالتالى فإنها تعرف بعنقودية فيرجو. هذا والمجرات مثل مجرة أندروميدا والسحب الماجلانية (ومعها درب التبانة) هى جزء من منظومة صغيرة من المجرات تعرف (بالمجموعة

المحلية)، ومع أن قياس المسافات إلى هذه الأجرام هو خطوة حاسمة فى تقدير نصوع الأشياء مثل المتغيرات القيفاوسية والسوبرنوفات، إلا أن هذا لا يخبرنا بشئ عن علاقة الإزاحة الحمراء ـ المسافة، لأن أعضاء (المجموعة المحلية) تتماسك معا كوحدة بفعل الجاذبية (وبالتالى فإن مجرة أندروميدا، كما سبق أن رأينا، تتحرك بالفعل «تجاهنا»، ويبين ضوؤها إزاحة زرقاء، وليست حمراء)، أما ما يخبرنا بشئ عن طبيعة الكون عموما فهو الإزاحات الحمراء المنسوبة إلى (المجموعة المحلية) ككل.

تحوى عنقودية فيرجو ما يبلغ على الأقل ٢٥٠٠ مجرة معينة، ثلثاها لولبية. وهذه العنقودية تتصف معا بأنها بعيدة البعد الكافى وغنية الغنى الكافى فى تنوع مكوناتها (مثل نصوع مجراتها المفردة) بما يفيد الكثيرين ممن يقدرون المسافات ذات المدى جد البعيد فيعايرونها بدراسة هذه العنقودية. على أنه ثبت فى النهاية أن بعض الأجرام التى عينها هابل كنجوم ناصعة مفردة فى المجرات فى عنقودية فيرجو هى فى الواقع سحب كبيرة من الغاز الساخن (تعرف باسم مناطق إتش II «H II»)، قد طمر فيها العديد من النجوم الناصعة، ومناطق إتش II أنصع كثيرا من النجوم المفردة، وحتى تبدو شاحبة مثل ما تبدو عليه للتليسكوبات فوق الأرض فإن من اللازم أن تكون أبعد كثيرا مما كان هابل يعتقد. وبالتالى، فإن عنقودية فيرجو نفسها، وهى أول خطوة للخروج إلى الكون بما يتجاوز (المجموعة المحلية)، تبعد بمسافة أكبر كثيرا مما

كان يعتقده، وكل مـا قيس من المسافات منسوبا إلى عنقودية فيرجو يجب حسب ذلك تصحيحه بالزيادة ـ بما يزيد ويعلو على تصحيح بآد لمقياس المسافة، الذى كان قد زاد من المسافة إلى مجرة أندروميدا، وزاد بالتالى من كل مسافة حددت منسوبة إلى تلك المجرة، بما فى ذلك المسافة إلى عنقودية فيرجو.

كانت نتيجة كل التصحيحات التى أجراها سانديج لمقياس المسافات فى الخمسينيات، وعلى وجه الخصوص اكتشافه أن مناطق إتش II قد عينت خطأ كنجوم مفردة، أنه بحلول نهاية ذلك العقد كان سانديج قد خفض من ثابت هابل ليصل حسب أحسن تقديراته إلى ٧٥ لا غير، بالوحدات المعتادة. ولما كان سانديج راصدا أمينا مدققا فقد أجرى أيضا محاولة جادة ليدخل فى الحساب ما تبقى من أوجه عدم اليقين فى التكنيكات المختلفة التى أستعملها للوصول إلى هذا الرقم، واستنتج أنه يمكن أن يخطئ بما يصل إلى عامل من اثنين. وبكلمات أخرى فعلى الرغم من أن «أفضل تقديراته» هو ٧٥، إلا أن مدى «حدود الخطأ» جد كبير بحيث أن العدد يمكن أن يكون صغيرا حتى ٣٨ أو كبيرا حتى ١٥٠. أجرت عالمة الفلك فيرجينيا تريمبل دراسة خاصة لتاريخ الأبحاث على ثابت هابل، وقالت فى نهاية ١٩٩٦ أن هذه كانت «آخر مجموعة واقعية من حدود الخطأ تم نشرها منذ زمن طويل جدا»، وكانت «آخر قيمة لا خلاف عليها بالكامل» تم نشرها حتى يومنا الحالى.

ما إن نشر ساديج تقييمه الأمين حتى كان بذلك قد بذر البذور لما أصبح خلافا طال زمنه حول مقدار ثابت هابل وعمر الكون. كان هناك علماء فلك آخرين لم يتح لهم استعمال تليسكوب المائتى بوصة إلا أنهم استفادوا من مزايا تحسينات تكنولوجية أخرى فى خمسينيات القرن العشرين، فاستطاعوا هم أيضا إجراء تصحيحات جزئية لمقياس المسافة الذى حدده هابل، ولكن من غير أن يضمّنوا كل العوامل التى تدخل فى رقم سانديج. كان كل واحد مقتنع بأن رقمه الخاص هو الأفضل، وكل الأفراد المختلفين لديهم أفكار مختلفة حول مقدار ما يدخل فى الحساب من تأثيرات مثل الإخماد. وبالتالى، فإنه مع بداية ستينيات القرن العشرين، كان هناك كذلك مع قيمة سانديج لثابت هابل تقدير بأن الرقم يقع فى مدى من ١٤٣ حتى ٢٢٧، وتقدير آخر بأنه ١٢٥± ٥، ثم تقدير بأنه ١٣٤±٦. ومع التبصر فى الأمر وراء، سيبدو أن حدود الخطأ فى هذين التقديرين الأخيرين صغيرة بما يثير السخرية (ولم يكن هناك أحد غير مؤلفى ورقتى البحث هاتين ينظر وقتها باهتمام كبير إليهما)، إلا أنه كنتيجة لأن سانديج كان أمينا كل الأمانة بشأن حدود خطئه، بدا وكأن كل هذه التقديرات يمكن أن تجعل متداخلة.

على أن مرجعية سانديج كان لها وزنها كما كان لتليسكوب المائتى بوصة سلطانه، الأمر الذى كان له بعض تأثير فى الطريقة التى نشأ بها الرأى بهذا الشأن، وأخذ معظم علماء الكونيات فى

أوائل ستينيات القرن العشرين يستخدمون كمقياس تقريبي قيمة ل هـ (H) من ١٠٠ (*). وكان هذا يرجع بعض الشئ إلى نزعة طبيعية لحساب متوسط التقديرات المختلفة (نزعة طبيعية، ولكنها ليست علما جيدا إلا إذا كان لدينا أسباب متينة للأعتقاد بأن كل التقديرات تتساوى من حيث إمكان الاعتماد عليها)، ويرجع بعض الشئ إلى جاذبيه «الرقم المستدير». على أنه كان يبدو لي دائما أن هناك حاجزا سيكولوجيا عند رقم ١٠٠، بما يشبه نوعا وضع ثمن للمنتجات يكون ٩٩,٩٥ دولار بدلا من ١٠٠ دولار، ولكن التشابه هنا بالعكس. كان هابل نفسه قد طرح عددا من ثلاثة أرقام لـ (H)، وهو ٥٢٥. وكان أختصار هذا العدد إلى ما يهبط به لمائة فيه ما يثير قدرا بالغا من القلق بين علماء الكونيات الذين نشأوا على الإيمان بهابل كحكيم يوحى له، بل إن اختصار عدده إلى رقمين (حتى ولو ٩٥) كان على نحو ما خطوة سيكولوجية أكبر - إلا بالنسبة لوريث هابل.

كان هذا هو الموقف تقريبا عندما بدأت أدرس علم الفلك في منتصف ستينيات القرن العشرين. وكان معظم علماء الكونيات وقتها يستخدمون قيمة (H) = ١٠٠ كقيمة تقريبية، وكان سبب ذلك في جزء منه أنه رقم مدوّر لطيف في استعماله، ولكنهم لم يعودوا بعد ينظرون إلى هذا على أنه رقم محفور في حجر، وما كانوا ليستاءوا على أى نحو من أن تكون قيمة (H) = ٥٠ (والواقع أن تقدير سانديج بأن H = ٧٥ كان ما زال قائما، ولكن مع خفض حدود الخطأ إلى ± ٢٥). وبصرف النظر تماما عن علاقة كل هذا

(*) عندما نتحدث على وجه الدقة سنجد أن رمز هـ (H) في علم الكونيات يرمز إلى (معلمة هابل) بينما الرمز (Ho) يشير إلى القيمة الحالية للمعلمة، أي (ثابت هابل). وسوف استخدم هـ (H) فقط لثابت هابل، حيث أنه لا يوجد مجال لأن ينشأ أي خلط للأمر في هذا الكتاب.

بمشكلة عمر الكون، فإن هذا المدى من الأرقام له أهميته بالذات فى ضوء تعليقات إدنجتون المتبصرة حول حجم مجرتنا نحن. فإذا كان الرقم موجودا عند أدنى طرف لهذا المدى، فسيضع كل المجرات اللولبية الأخرى على المسافات المناسبة بالضبط لأن تكون عندها درب التبانة نفسها مجرة لولبية متوسطة الحجم. على أنه إذا وجد الرقم قرب الطرف الأعلى من المدى، فإن هذا يجعل كل المجرات الأخرى أقرب جدا إلينا، بما يعنى أنها يجب أن تكون على نحو نسقى أصغر من درب التبانة ـ بما يعنى إن درب التبانة يصل حجمها إلى حوالى ضعف المجرة اللولبية المتوسطة.

ومن إحدى وجهات النظر، فإن هذا يثير الإنزعاج بدرجة أكبر كثيرا من الفكرة التى أثارت قلق إدنجتون، وهى أن درب التبانة قارة بين جزر. وإذا كانت درب التبانة حقا المجرة الضخمة الوحيدة فى الكون، سيكون من المرجح تماما أننا نعيش فيها بما يشبه بالضبط أن نجد أن أى شخص فرد فى اسكتلندا نختاره عشوائيا سيكون من الأرجح أنه يعيش فوق البر الرئيسى بأكثر من أن يعيش فوق إحدى الجزر الأسكتلندية. على أنه إذا كانت درب التبانة أكبر مجرة فيما حولها ولكنها أكبر فقط بمقدار صغير، فسيبدو عجيبا بعض الشئ أنه ينبغى أن يتصادف فحسب أنها تكون موطنا لنا. وهذا النوع من الاستدلال يعرف باسم مبدأ المكانة

العادية للأرض، وهو مبدأ يقول بأنه ليس هناك أى شئ خاص فيما يتعلق بمكانتنا فى الكون. وإذا كان هناك شئ مهم فى هذه المحاجة، فهو أننا يجب أن نكون عائشين فى مجرة ذات حجم عادى تقريبا ـ ربما أكبر هونا أو أصغر هونا من المتوسط ولكنها ليست الأكبر ولا الأصغر. وهذا النوع من الاستدلال، باستقاء نتائج كونية من المنطق البسيط، كان يشدنى إليه وأنا طالب ساذج، وقد اعتدت أن أحاج مستندا إلى إدنجتون كلما طرح هذا السؤال فى المناقشات بأن «من الطبيعى» أن قيمة H يجب أن تكون أقرب إلى ٥٠ منها إلى ١٠٠. ولم يلق أحد اهتماما كبيرا بهذا (وذلك فى الدائرة الصغيرة من علماء الفلك الذين كان لى اتصال بهم وقتها)، ولم يكن السبب مطلقا أنه ليس هناك خلاف حقيقى حول أى طرف من طرفى المدى المقبول للقيم يمكن أن تقع عنده قيمة (H). وإنما كان من المتفق عليه فحسب بصفة عامة (حوالى ١٩٦٦ أو ١٩٦٧) أن الأرصاد هكذا تصير أفضل، وأن العدد يتم تحديده بدقة أكبر، وأن هذا سيكون لطيفا جدا، ولكن ليس هناك ما يطلب الاقتناع به. إلا أن الأمور لا تحل هكذا.

على الرغم من أننى انجرفت بعيدا عن أبحاث علم الفلك لأدخل فى الصحافة العلمية فى نهاية ستينيات القرن العشرين، إلا أننى ظللت أتابع عن كتب تطورات علم الكونيات، وأسعدنى أن أرى سانديج وزملاءه وهم يقللون فى تواضع من تقديرهم هم أنفسهم لقيمة (H)، ويقللون إلى حد له اعتباره من حدود خطأهم ـ وهذا

هو تماما نوع التقدم الهادئ الذى كان يرتقب. إلا أننى تحيرت تماما عندما حدث فى نفس الوقت أن أخذ أفراد جماعة ثانية بين علماء الفلك يحبذون القيمة الأعلى لـ «H» (أى حوالى المائة)، وكانوا أيضا يقللون من حدود خطأهم المزعومة. وبحلول أواخر السبعينيات، كانت هناك مدرستان فكريتان تتعارضان بوضوح، إحداهما تحاج دفاعا عن قيمة لـ (H) قريبة من ٥٠ والأخرى تحاج دفاعا عن قيمة لـ (H) قريبة من ١٠٠، وكل منهما تزعم أن ما لديها من حدود الخطأ ينفى تماما الاحتمال الآخر. وفى وجود هذه الخلفية التى دامت لفترة تزيد عن عشرين عاما، أخذ علماء الفلك ينشئون إزاءها تكنيكات جديدة لقياس (ثابت هابل) - وكان بعضها يجرى العمل به فى استقلال تام عن سلم المسافات التقليدى المؤسس على القيفاوسيات، والبعض الآخر كان ما زال يستخدم القيفاوسيات لقياس المسافات إلى أقرب المجرات، ولكنه يثب فجأة بعدها إلى الكون ككل فى قفزة واحدة. وبمرور الوقت، إذ أخذ الغبار ينجلى وأصبحت حدود الخطأ الأمينة هى النزعة الشائعة مرة أخرى، أصبح من الواضح أكثر من أى وقت مضى، أنه أيا كانت قيمة (H) بالضبط فإن الإتفاق العام بين كل هذه التكنيكات كان يخبرنا بشئ له أهميته حقا بشأن طبيعة الكون الذى نعيش فيه.

•

أدوات قياس جديدة
من الخلاف إلى الإتفاق

عندما نحاول أن نستنبط بالضبط السرعة التى يتمدد بها الكون حقا - أى أن نستنبط قيمة ثابت هابل - ستكون المشكلة أنه قبل نطلق لمسافة بعيدة فى الكون ككل ، فإن عوامل التأثيرات المحلية تغمر فى لجتها المقدار الذى نحاول قياسه. وكمثل، لن تكون هناك فائدة من محاولة قياس (H) عن طريق قياس المسافة لمجرة أندروميدا ثم مقارنة ذلك بالإزاحة الحمراء لهذه المجرة. فسنرى فى هذه الحالة أن الحركة المحلية لمجرة أندروميدا خلال الفضاء وهى تحت التأثير الجذبوى لجارتها فى المجموعة المحلية للمجرات،مقرونة بحركتنا نحن فى مدار حول مركز درب التبانة، هذا كله يعنى اننا سنرى بالفعل إزاحة زرقاء فى الضوء الآتى من تلك المجرة، وليس إزاحة حمراء. وكما رأينا من قبل، فإن الفائدة الوحيدة لمجرة أندواميدا فى تحديد قيمة (H)، هى انه حيث أننا

نعرف مسافة بعدها بدقة بالغة (من القياسات القيفاوسية)، فإنه يصبح فى إمكاننا معايرة أشياء مثل مناطق إتش II والعنقوديات الكروية عن طريق دراسة تلك المجرة.

وتكاد الأمور تماثل ذلك سوءا بالنسبة لعنقودية مجرات فيرجو، وهى ثانى الدرجات المفتاح فى سلم الكون ككل. وأول مشكلة هنا تتعلق بحجم المجموعة العنقودية، مقارنا بمسافة بعدها عنا- والحقيقة أنها بالغة الكبر بحيث يصعب معرفة ما تكونه مسافة بعدها عنا. فعنقودية فيرجو تشبه سربا هائلا من النحل، يتحرك كل أفراده وهم يدورون أحدهم بالنسبة للآخر(وبالنسبة لمركز السرب)، ولكن السرب ككل يتحرك خلال الهواء، تماما مثلما تتحرك العنقودية ككل وقد حملها معه تمدد المكان. وعندما نحاول قياس المسافة إلى عنقودية فيرجو، يكون ما نفعله مشابها لقياس المسافة إلى بعض أفراد فرادى من النحل(المجرات). ولسوء الحظ، فإن السرب ليس هو الشئ الوحيد الذى يستوجب قلقنا بشأن الكون- فهناك أيضا «نحل» شارد بيننا وبين السرب، وشوارد أخرى تتجاوز السرب، بطول خط البصر. وبالتالى، فحتى لو أننا قسنا المسافة إلى مجرة مفردة قياسا مضبوطا، سيكون من الصعب التأكد من أن هذه النحلة بالذات هى حقا إحدى عضوات السرب. وهناك تعقيد آخر، سببه إن من الأسهل أن تقيس المسافة إلى المجرات التى تكون أكثر قربا منا. وبالتالى فإن من الأسهل أن نقيس المسافة إلى المجرات التى تقع إلى الجانب المواجه لنا من عنقودية فيرجو، وإذا لم نكن حريصين أبلغ الحرص في طريقة تفسير هذه القياسات،

ونحسب لها المتوسطات، سيبدو لنا وكأن المجموعة العنقودية أقرب إلينا كثيرا عما هى عليه فى الواقع. والحقيقة، أن أقصرما قيس من مسافات إلى المجرات عُينت كأعضاء فى عنقودية فيرجو تبلغ كلها حوالى ١٧ ميجا فرسخ. وأكبر المسافات التى قيست لأى مجرة عُينّ تعيينا حازما أنها تنتمى لهذه العنقودية هى حوالى ٢٥ ميجا فرسخ. ويتبين من ذلك، ومن أدلة أخرى، أن مركز المجموعة العنقودية يقع فيما يحتمل بما يبعد عنا بحوالى ٢١ ميجا فرسخ(ولكن دعنا لا نأخذ هذا الرقم كالكتاب المقدس، حتى ولا اليوم؛ فالناس ما زالوا يناقشون أمره).

إذا وافقنا على أن «المسافة» إلى عنقودية فيرجو هى٢١ ميجافرسخ، وخمنا أن هذه هى المسافة لأى عضو فى العنقودية ممن لا نستطيع أن نقيس مباشرة مسافة بعده، فإننا عند ذلك نُدخل مباشرة فى حساباتنا إحتمال خطأ من ±٤ ميجافرسخ. وسنجد إن هذا الخطأ عند مسافة ٢١ ميجافرسخ يقل بالكاد عن ٢٠ فى المائة. وبالتالى فإننا عندما نحاول أن نعاير مؤشرات المسافة (مثل متوسط نصوع مجرات بأكملها) باستخدام إحصائيات من عنقودية فيرجو، سيكون لدينا من قبل خطأ بهذا الكبر يكمن لنا فى معادلتنا.

وليست المشكلة أن عنقودية فيرجو كبيرة كبرا بالغا، وإنما المشكلة أنها قريبة قربا بالغا. وبالطبع فإنها «يلزم» أن تكون قريبة، حتى يمكننا قياس المسافات لأى من مجراتها باستخدام التكنيكات قصيرة المدى نسبيا التى عويرت بدراسة مجرة أندروميدا (نفس نوع طريقة التناول التى استخدمت مع عنقوديات المجرات الأخرى، وإن كان محتما أنها كلها مصابة بآفات المشاكل نفسها). وعندما تكون إحدى العنقوديات بالحجم نفسه مثل عنقودية فيرجو (بعرض ٨ ميجا فرسخ) وتكون على بعد ١٠٠ ميجا فرسخ منا، سيبقى عندها مدى عدم اليقين فى مسافة بعدنا عن مجراتها المفردة هو +٤ ميجا فرسخ، ولكن هذا سيمثل الآن نسبة خطأ مقدارها فقط ٤ فى المائة وليس ٢٠ فى المائة. لولا أن ثمة اعتراض، فنحن لن يكون لدينا هنا أى قياس لمسافة، لأن المجموعة العنقودية التى تبعد عنا بمائة ميجا فرسخ ستكون بعيدة أبلغ البعد بالنسبة لأى من مؤشرات المسافة التى عويرت فى مجرة أندروميدا، بحيث لا يمكن رؤيتها!

هناك مشكلة أخرى عندما نستخدم عنقودية فيرجو لنحدد مباشرة قيمة (H). فسنجد أن الإزاحات الحمراء للمجرات المفردة فى المجموعة العنقودية لا يعتمد عليها كمؤشر بالنسبة للإزاحة الحمراء الكونية. فهناك أولاً صعوبة أن المجرات المفردة تدور متحركة إحداها بالنسبة للأخرى وبالنسبة لمركز العنقودية، تماما مثلما يحدث فى المجموعة المحلية أن تتحرك مجرة أندروميدا

بالنسبة لنا حركة سريعة نوعا. والحقيقة أن إحدى مجرات فيرجو القليلة التى قيست مسافة بعدها قياسا جيدا جدا (من أرصاد السوبر نوفا) لها مسافة بعد من ٢٥ ميجا فرسخ (على الجانب البعيد من العنقودية) ولكن إزاحتها الحمراء صغيرة جدا، وسبب ذلك فيما يفترض أنها تهوى للداخل تجاه مركز العنقودية، وبالتالى فإنها تتحرك تجاهنا، الأمر الذى يؤدى لإلغاء جزء من الإزاحة الحمراء الكونية. وبالتالى، فحتى نصل إلى إزاحة حمراء لها معنى بالنسبة للعنقودية ككل، سيكون علينا أن نقيس عددا كثيرا جدا من الإزاحات الحمراء لمجرات مفردة (وهذا ليس أمرا بالغ الصعوبة) ثم نأخذ المتوسط - ولكننا بدون معرفة المسافات لكل مجرة مفردة، لن نستطيع التأكد من أننا لا نقيس الإزاحات الحمراء لكل المجرات التى فى جانب العنقودية المواجه لنا، فنحصل على نتيجة متحيزة بالكامل.

وهناك ما هو أكثر. وذلك أننا جد قريبين من عنقودية فيرجو، ونتيجة ذلك أن تتأثر حركة درب التبانة (وكل المجموعة المحلية) بشد العنقودية الجذبوى. ونحن نتحرك حقا بعيدا عن عنقودية فيرجو محمولين بتمدد المكان، بحيث أن الضوء الآتى من كل المجرات فى العنقودية يظهر بالفعل إزاحة حمراء. ولكننا فى الوقت نفسه نهوى خلال الفضاء تجاه عنقودية فيرجو، بسبب شدها الجذبوى. وأحسن تمثيل لذلك هو أن شخصا ما يحاول النزول على

سلم كهربائى طويل جدا يتحرك لأعلى. والمجموعة المحلية هى الشخص الذى ينزل على سلم، تجاه عنقودية فيرجو، التى توجد فى قاع السلم الكهربائى. فنحن حقا نتحرك لأسفل بالنسبة للدرجات على السلم عندما ننزل عليها. ولكن السلم الكهربائى يحملنا وراء بأسرع مما نمشى به، وبالتالى فإن المسافة بيننا وبين قاع السلم تتزايد، وإن لم يكن ذلك بالسرعة التى ستتزايد بها لو لم نكن نسير هابطين. ولا يزال علماء الفلك فى نزاع حول كم يكون بالضبط مقدار هذا «الهبوط الداخلى تجاه مركز فيرجو»، ولكن هذا النزاع يغطى مدى يتروح من حوالى ٢٠٠ كيلو متر فى الثانية إلى ٣٣٠ كيلو متر/ ثانية. وأحسن تقدير لمتوسط الإزاحة الحمراء لعنقودية فيرجو (مع كل التحذيرات التى ذكرتها من قبل) يطابق سرعة من حوالى ١٠٠٠ كم/ ثانية بالنسبة إلى المجموعة المحلية من المجرات، وبالتالى فإننا نستنتج أن ما يحدث للعنقودية من إزاحة حمراء كونية (والتى كما نتذكر، ليست بسبب ظاهرة دوبل وإنما تنتج بمط المكان) هو ٢٠٠ - ١٣٠٠ كم / ثانية، مع إلغاء حوالى ٢٥ فى المائة من ذلك بسبب ظاهرة دوبلر الحقيقية الناتجة عن حركة سقوطنا للداخل - فنحن نهوى حقا تجاه عنقودية فيرجو حتى وإن كنا بالفعل نبتعد عنها بتمدد المكان.

ماذا تكون «إذن فائدة عنقودية فيرجو فى تحديد (H)، مع كل ما يوجد هكذا من عدم اليقين؟ إن فائدتها، مثلها مثل مجرة أندروميدا، تكمن فى أنها توفر طريقة لمعايرة نصوع أشياء يمكن

استخدامها كدرجات سلم تأخذنا خارجا لما هو أكثر بعدا فى الكون. وكمثل، فإنه مع وجود مجرات كثيرة جدا هكذا فى عنقودية فيرجو، سيكون فى الإمكان أن نحصل، حتى على بعض فكرة عن متوسط نصوع أنواع معينة من المجرات. ويمكننا بعدها أن نبحث عن نفس النوع من المجرات فى عنقوديات على مسافات أبعد كثيرا، ونقارن نصوعها بنصوع النوع نفسه من المجرات فى عنقودية فيرجو. ثم نستطيع «بعدها» ونحن نخرج للكون أن نصل حتى إلى ما هو أبعد باستخدام نصوع عنقوديات مجرات بأكملها كمؤشرات للمسافة (وان كان يقر بأنها هكذا فيها تقريب كثير).

يعطينا هذا التكنيك المسافات إلى العنقوديات الأكثر بعدا بلغة من المسافة إلى عنقودية فيرجو. فنستطيع أن نستنتج أن عنقودية على مسافة أكثر بعدا، تكون أبعد بخمسة أمثال، عن عنقوديات فيرجو، أو أبعد بعشرة أمثال، أو بأى مما يكون. وسيبقى لدينا عدم اليقين الذى يدخل إلى حساباتنا بسبب عدم معرفتنا للمسافة المضبوطة لمركز عنقودية فيرجو، ولكننا يمكننا الآن الآن أن نأمل على نحو معقول أن العنقودية الأكثر بعدا ستكون بعيدة بعدا بالغا بحيث أن إزاحتها الحمراء الكونية ستغمر بالكامل أى تصحيحات صغيرة تلزم حتى يؤخذ فى الحساب حركات أعضاء العنقودية من المجرات المفردة، وحركاتنا نحن، خلال الفضاء. وسيثور قلقنا عند وجود تصحيح (أو إمكان خطأ) من مائتى كيلو متر فى الثانية عندما نتعامل مع إزاحة حمراء كونية تزيد هونا عن ١٠٠٠ كيلو مترا فى

الثانية ـ فهذا يمثل خطأ من ٢٠ فى المائة. أما بالنسبة لعنقودية تبعد لأكثر من عشرة أمثال بعد عنقودية فيرجو، ولها إزاحة حمراء كونية من حوالى ١٠'٠٠٠ كم / ثانية، فإن نفس النوع من السرعات العشوائية سيدخل لنا خطأ من ٢ فى المائة فقط، وليس ٢٠ فى المائة، عند تحديد (H) تحديدا نهائيا.

لست أنوى أن آخذ القارئ خلال كل خطوات المحاجة التى تستخدم لتحديد ثابت هابل عند التطبيق، ولكنى آمل أن أكون قد أعطيته بعض فكرةعن الصعوبات التى كانت تعانى منها القياسات لوقت قريب جدا. كانت هذه الصعوبات هى ما أدى إلى ظهور معسكرين فى سبيعنيات القرن العشرين، أحدهما يحاج مدافعا عن قيمة لـ (H) هى حوالى ١٠٠ والآخر بحاج مدافعا عن قيمة تقرب من ٥٠. ولما كان من الواضح الآن أى مدرسة فكر هى التى كانت على صواب، فإنى لن أدخل فى كل تفاصيل المحاجات وإن بدت مهمة لمناصريها، ولكنها مما لا يرجح أن يُفسح لها حيز واسع فى كتب تاريخ الفلك. على أنى أود بدلا من ذلك أن أخبر القارئ بالبعض القليل عن «السبب» فى نشأة هذه المحاجات، لأن هذا يلقى ضوءا كاشفا على الصعوبات التى تواجه علماء الكونيات عندما يحاولون التوصل إلى أى قياسات دقيقة لخواص الكون.

بحلول نهاية خمسينيات القرن العشرين، كان هو ماسون وبآد كلاهما قد اعتزلا العمل (وقد خلّفا ميراثا من مئات من الألواح الفوتوغرافية لمجرات بعيدة) وكان آلان سانديج هو عالم الفلك الوحيد الذى بقى فوق مونت بالمار وهو ما زال يتابع ثابت هابل المراوغ. كانت مهمة تحليل كل الألواح، والبحث عن المتغيرات القيفاوسية، وما إلى ذلك، مهمة أثقل جدا من أن يقوم بها فرد واحد، وعلى أى فقد كان لسانديج اهتمامات أخرى أيضا (ليس أقلها أهتمامه بما ثبت حتى أنه البحث الأكثر مرواغة وهو البحث عن قياس نهائى لانحناء الكون). ضم سانديج فى ١٩٦٢ عضوا جديدا ليساعده، وهو عالم الفلك السويسرى جوستاف تمّان الذى كان عندها فى الثلاثين، وإن كان لم ينته إلا من وقت قصير من دكتوراه الفلسفة (بسب انحراف عن القانون وهو فى سن أصغر). وصل تمّان إلى معهد كالتك فى فبراير ١٩٦٣، وأخذ يعمل فى مهمة شاقة هى مقارنة الألواح الفوتوغرافية للمجرات نفسها التى التقطت صورها فى أوقات مختلفة، باحثا عن النجوم المتغيرة، وخاصة القيفاوسيات والنوفات.

وشق سانديج وتمان طريقهما فى الخروج إلى الكون باستخدام أكوام من البيانات، ودراسة نجوم شاحبة تكتشف بالكاد فى الألواح الفوتو غرافية، واستخدام كل أداة معايرة استطاعا أن يضعا أيديهما عليها، والقيام بأفضل ما يستطيعان من تقديرات لتأثيرات الإخماد التى توجد فيما بين النجوم. وكان أحد القياسات الرئيسية عندهما

هو قياس المسافة إلى أقرب مجرة لولبية كبيرة الحجم حقا، وهى مجرة عملاقة تعرف باسم إم ١٠١ (ويصدف أنها تقع تقريبا فى اتجاه كوكبة تعرف باسم بلاو «المحراث»، وإن كانت تتجاوزها بمسافة بعيدة) . وساورهما الظن بأن كل اللولبيات العمـــلاقة مثل إم ١٠١ يجب أن يكون لها تقريبا النصوع نفسه، وأنه إذا أمكنها قياس المسافة إلى إم ١٠١ وبالتالى تحديد نصوعها الحقيقى، فسوف يتمكنان من استخدام النصوع الظاهرى للولبيات العملاقة المماثلة كمقياس لمسافة بعدها. وحللا كل ما أمكنها تحليله فى مجرة م ١٠١ نفسها، وفى مجرات تابعة أصغر تدور حول المجرة العملاقة. وكنتيجة لكل ما تجمع من أدلة أصبح لديهما بحلول نهاية الستينيات مسافة لبعد إم ١٠١ تبلغ ٧ ميجا فرسخ، وكانت هذه خطوة رئيسية فى تحديدهما لقيمة ثابت هابل نفسه بما يقرب من الخمسين.

ظهر هجوم على هذا الخط من البحث، الذى يرجع بكل الطريق وراء حتى هابل نفسه فى العشرينيات، وأتى هذا الهجوم فى منتصف السبعينيات على يد جيرار دى فوكولير، الذى ولد فى فرنسا فى ١٩١٨، ولكنه كان وقتها يعمل فى جامعة تكساس بأوستن. والحقيقة أن دى فوكولير ظل يسدد طلقاته على أبحاث سانديج لبعض الوقت قبل أن يصلا فيما بعد إلى مواجهة متفجرة تماما. كان دى فوكولير يهتم أساسا بطريقة توزع المجرات عبر الكون، وكان واحدا من أول علماء الفلك الذين أدركوا أن المجرات تتوزع على نحو ليس متسقا اتساقا كاملا، وإنما هى موزعة فى مجموعات عنقودية ضخمة وصفحات هائلة، ملفوفة حول مناطق

خاوية من المجرات، بحيث أن المظهر العام للكون يشبه زبدا من فقاقيع. وإحدى دلالات هذا البحث هى أن هذا التوزيع للمجرات قد يكون له تأثيرات بدرجة كبيرة على طريقة تحركها، حيث أن جاذبية العنقودية الضخمة ذات الحجم الكبير ستشد بقوة المجرات الأخرى دافعة إياها لتنساب عبر الكون. وحسب ما يفسر به هذا البرهان، فإن هذه الحركات الأنسيابية سوف تشوه من مظهر تمدد الكون، وتؤدى إلى تقديرات غير صحيحة لمقدار ثابت هابل. وطرح دى فوكوليير على وجه الخصوص أن جاذبية عنقودية فيرجو لها تأثير رئيسى خدع سانديج وتمان حتى قاسا قيمة لـ (H) أقل كثيرا مما ينطبق على الكون ككل، فيما يتجاوز منطقة تأثير عنقودية فيرجو.

لم تكن الحركات الإنسيابية هى وحدها التى أثارت قلق دى فوكوليير. فكان كلما ازداد انغماسا فى هذا الجانب من الكونيات يزداد اقتناعه لنفسه بأن التصحيحات التى يقوم به سانديج وتمان للبيانات الخام وهما ينقضان على مشكلة ثابت هابل هى تصحيحات يكاد كل واحد منها أن يكون خطأ - وأنهما لا يدخلا فى الحساب تصحيحات، لا للحركات الانسيابية وحدها، وإنما أيضا التصحيحات المطلوبة مثلا للإخماد ما بين النجوم، أو أى من الأمور الأخرى التى يلزم ادخالها فى الحساب. ذكر دى فوكوليير الكثير مما يماثل ذلك فى اجتماع عقد فى سبتمبر ١٩٧٦ فى جرينوبل فى فرنسا وأنبأ دى فوكوليير المجتمعين أن قيمة ثابت هابل الحقيقية هى ١٠٠، وأن الكون بالتالى له عمر هو فقط نصف ما قدره سانديج وتمان (وهذا أمر واحد من بين أمور أخرى).

ظل هذا الجدل محتدما لما يزيد عن عشرين عاما، وكثيرا ما كان مريرا. ونحن الآن نعرف أن سانديج وتمان كانا على صواب طول الوقت، ولكن هذا لا يعنى أن النزاع لم يكن مهما. وحقيقة أن هناك نزاعا موجودا أدت بوجه خاص إلى تشجيع الراصدين على إنشاء تكنيكات جديدة لقياس قيمة (H)، ولم يكن إنجازا قليلا أننا بفضل هذه التكنيكات الجديدة أصبحنا نعرف الآن من الذى كان على صواب (وهذه التكنيكات الجديدة ما كانت لتنشأ سريعا هكذا من غير منا كفات دى فوكولير). ولكن «لماذا» كان دى فوكولير على خطأ؟ سألت تمان هذا السؤال فى ربيع ١٩٩٥، فشرح لى أن ذلك نتج فى أغلبه عن شئ يسمى «تحيز مالمكويست» (وقد سمى على اسم عالم الفلك السويدى جنر مالمكويست، الذى جذب الانتباه إلى المشكلة فى سياق علم فلك النجوم فى عشرينيات القرن العشرين)، ونجد فى هذا التحيز أن متوسط نصوع مجموعة من الأجرام البعيدة (مثل المجرات) يبدو أكبر كلما كانت على مسافة أبعد، لأن أبهت أعضاء المجموعة ستكون أشحب من أن ترى وأن تدخل فى الحساب. ويوضح تمان أن نوع الحجة نفسه ينطبق أيضا على الأحجام الفيزيقية للأجرام البعيدة جدا عبر الكون - فنحن لا نستطيع رؤية الأفراد الأصغر فيها، وبالتالى فإن متوسط الحجم الذى نستنتجه من الأفراد التى نستطيع رؤيتها يكون دائما أكبر مما ينبغى.

وبكلمات تمان، فإن الثنائية التى وجدت فى تقديرات ثابت هابل من منتصف السبعينيات حتى منتصف التسعينيات من القرن العشرين يمكن أدراكها بلغة من طرق التناول المختلفة بين «المتفائلين» و«المتشائمين». فالمتفائلون، كما يقول يعتقدون أن مؤشراتهم للمسافة قريبة من الكمال، مع بعض «انتشارية» Scatter، قليلة جدا (تغاير فى الخواص مثل النصوع أو الحجم عند مقارنتها بالمتوسط). وهذا يعنى إن المتفائلين لا حاجة بهم لأن يأخذوا تأثير تحيز مالمكويست فى الحساب، «وهم يؤمنون إيمانا أعمى بمسافاتهم التى استمدوها من بعض علاقة عويرت محليا». وثمن ذلك هو أنهم يصبح لديهم نمطيا (قيمة) لـ (H) تتزايد مع مسافة البعد».

ومن الجانب الآخر فإن المتشائمين «ينادون بأن معظم مؤشرات المسافة جد سيئة، بمعنى أن فيها انتشارية جوهرية مهمة». ويعنى هذا أننا كلما نظرنا لمسافة أبعد فى الكون، زاد تحيز كتالوج الأجرام البعيدة فى صف الأجرام الأكبر والأنصع، بينما سيقل تمثيل الأجرام الأصغر والأعتم. «والنتيجة الواضحة لذلك هى أن متوسط ضياء أجرام الكتالوج سيزيد بزيادة مسافة البعد». والمتفائل الذى ينكر وجود الانتشارية، لا يوافق على هذه الزيادة ويظل يستنتج على نحو نسقى مسافات أصغر (وقيما أكبر لـ (H)). ويبين تمان فى انعطاف أخير لقصته أن العديد من المؤشرات المختلفة للمسافة التى استخدمت عبر السنين قد ثبت فى النهاية أنها كلها لها تقريبا نفس

الانتشارية، وبالتالى فإنها كلها تتساوى فى ظاهرة تحيز مالمكويست، وتعطى على نحو ثابت إجابة خطأ - ولنتذكر هنا (مثلما حدث فى معايرة شابلى الأصلية لمقياس المسافة القيفاوسى) أن «على نحو ثابت» لا تعنى بالضرورة «الصواب». وأوضح لى تمان أيضا، وهو يسر لى بهمسة إعزاز (وكأنى لم أكن أعرف!) أنه «إذا كانت (H) أكبر من ٧٠، سيكون علينا أن نوافق على أن قطر مجرتنا هى وجارتنا إم ٣١ (مجرة أندروميدا) يكون أكبر من قطر أى مجرة لولبية فى عنقودية فيرجو».

النتيجة الأخرى التى تلزم منطقيا عندما تكون قيمة (H) منخفضة هى أنه لن تكون هناك وقتها حاجة لاستحضار السرعات الانسيابية الكبيرة. فهذه ليست مشكلة، لأن هناك قدرا كبيرا من الأدلة على أن المجرات الناصعة وإن كانت تتوزع كالزبد عبر الكون، إلا أن هناك مقدارا ضخما من المادة المظلمة التى لا ترى، حتى فى الفراغات (أنظر فى ذلك كتاب «البحث عن الأنفجار الكبير»). وبالتالى فإن توزيع الكتلة فى الكون هو أكثر اتساقا عما يطرحه توزيع المجرات الناصعة، وهذا يعنى أن تفاوتات مستوى الجاذبية ليست جد متطرفة، وأن الحركات الانسيابية ليست جد كبيرة بمثل ما قد تدل عليه أرصاد المجرات الناصعة وحدها. وليس هناك أى شئ غير متسق عند اتخاذ طريقة التناول التشاؤمية للمشكلة.

إذا فعلنا ذلك، سيكون فى الإمكان تصحيح تحيز مالمكويست باستخدام تكنيكات إحصائية تتأسس على تحليل القياسات التى نستطيع القيام بها لتوزيع النصوعات أو الأحجام، مستخدمين عشائر الأجرام التى ندرسها. لخص تمان موقف «المتشائمين» فى اجتماع عقد فى بالتيمور بولاية مارى لاند فى مايو ١٩٩٦، أى بما يكاد يكون توقيته بالضبط بعد عشرين عاما من انطلاق مشاغبات دى فوكولير. استخدم تمان تكنيك قياس المسافات منسوبة لعنقودية فيرجو (لازالة أى تأثير لسقوطنا للداخل تجاه عنقودية فيرجو) وخرج من ذلك بأن قيمة (H) هى ٥٤ ± ٤ كم / ثانية فى الميجا فرسخ. على أنه حدث حتى فى نفس الاجتماع أن كان هناك علماء فلك آخرين ما زالوا يناقشون حالة أن تكون قيمة (H) أكثر من ٧٠، وكان هذا فى جزء منه فى ضوء دراسات للقيفاوسيات، أجريت باستعمال تليسكوب هابل الفضائى، وذلك فى عدد قليل من مجرات عنقودية فيرجو (حتى نضع تليسكوب «هتف» فى المنظور الصحيح، فإن مرآته لها تقريبا القطر نفسه مثل مرآة تليسكوب هوكر، ولكن هتف له ميزة الاستفادة من الكشافات الألكترونية الحديثة والرؤية الواضحة الممكنة من فوق جو الأرض).

وكما سأشرح فى الفصل التالى، فإن هذا البحث المبكر الذى أجرى «بهتف» على عنقودية فيرجو هو الذى فجر الزناد لمساهمتى أنا فى هذا النزاع. دعنا نتمسك بذلك الرقم ٥٤ ± ٤، الذى يمثل الذروة فى طريقة تناول إدوين هابل نفسه للمشكلة، عندما بنى سلم

المسافات الكونية درجة بعد درجة وهو يخطو خارجا إلى الكون إبتداء من عنقودية هيادس (القلائص) فى مجرتنا درب التبانة، ووصولا إلى العنقوديات الكروية، والسحب الماجلانية، ومجرة أندروميدا، ثم عنقودية فيرجو، وما يتجاوز ذلك. وقبل أن أناقش بالتفصيل بحث الفريق الذى عملت بصحبته، أود أن أحدث القارئ عن بعض التكنيكات الأحدث التى جعلت علماء الكونيات يدركون كيف أن نموذج أينشتين ـ دى سيتر الأساسى للكون هو نموذج جيد حقا.

مازال أحد هذه التكنيكات يستخدم المتغيرات القيفاوسية، ولكنه لا يلبث أن يخرج إلى الكون ككل فى خطوة واحدة لا غير، مبسطا الأمر كله. وهناك تكنيكان آخران جيدان حقا (بمعنى أنهما يتأسسان تأسسا سليما على أسس فيزيائية مفهومة جيدا) يوفر كل منهما بالفعل طريقة لتحديد (H) تحديدا مباشرا، دون أى حاجة لمعايرة المسافات باستخدام متغيرات قيفاوسية. وحتى الآن، فإنهما كلاهما من التكنيكات غير اليقينية، بمعنى أن تقديراتهما ما زال فيها حدود خطأ كبيرة. ولكنهما ينجحان فى العمل على وجه أكيد. ثم هناك تكنيك رابع، سأذكره بإيجاز، ولكنى لدى بعض الشكوك بشأنه، ليس أقلها بسبب أنه لا يتأسس على نحو سليم على أسس فيزيائية مفهومة فهما كاملا.

أول هذه التكنيكات هو التكنيك الذى ذكرته من قبل ذكرا عابرا، والذى يستخدم نصوع تفجرات السوبر نوفا فى المجرات البعيدة كمؤشر لمسافة بعدها. مفتاح هذا التكنيك هو بالطبع أن يكون فى الإمكان أن نقول بثقة أن كل السوبرنوفات التى نستخدمها لها نفس النصوع الأصيل، وأننا نعرف ما يكونه النصوع. وعندها سنتمكن من قياس المسافات بمثل السهولة التى يمكننا أن نقيس بها المسافة إلى لمبة من مائة وات عند نهاية الشارع بأن نقيس نصوعها الظاهرى. وحتى وقت قريب نسبيا، كان هناك عنصر من التفكير بالتمنى والتخمين فى هذه الطريقة للتناول. على أن علماء الفلك عينوا أولا طائفة معينة من السوبر نوفات (تعرف بنوع ١ (أ) = ١a) لها حقا كلها نفس الدرجة القصوى من النصوع، وبعد ذلك إمكنهم أن يحددوا المسافات إلى مجرات عديدة ينظر فيها إلى هذه الأحداث باستخدام التكنيك القيفاوسى (واستخدم فى ذلك التليسكوب الفضائى هابل على نطاق غير صغير). وأثناء هذا كله نمّى علماء الفلك فهما فيزيائيا كاملا لما يجرى فى السوبر نوفا من نوع ١ (أ) (ويتم تمييز الأنواع المختلفة عن طريق السرعة التى تنصع بها ثم تبهت، وعن طريق ألوانها، وخطوط طيفها وما إلى ذلك).

تحدث السوبرنوفات كلها عندما يتقلص ما كان تقريبا نجم عادى ليشكل نجم نيوترون، كرة من المادة عرضها حوالى ١٠ كيلو مترات فقط ولكنها تحوى مادة تزيد هونا عن مادة الشمس. وهذه المادة تكون بالمعنى الحرفى للكلمة لها الكثافة نفسها مثل نواة

ذرة، وسيزن ملأ الكستبان من هذه المادة وزنا يماثل وزن كل البشر فوق كوكبنا وقد وضعوا معا (هذا إذا أمكن نقل هذه المادة للأرض مع منعها بطريقة سحرية من التمدد).

والطاقة التى تنطلق عند انفجار سوبرنوفا هى أساسا طاقة جذبوية. ولو بدأنا بسحابة غاز فى الفضاء وتركناها لتنكمش بتأثير ثقلها، ستصبح أسخن فى الداخل مع أنطلاق الطاقة الجذبوية. وهذه هى الطريقة التى تتشكل بها النجوم فى المقام الأول. وتصبح سحابة الغاز جد ساخنة من الداخل بما يجعل التفاعلات النووية تبدأ عملها، مولدة حرارة تؤدى إلى استقرار النجوم وتوقفها عن أن تزيد انكماشا. وكما رأينا من قبل، فإن النجم يبقى بالحجم نفسه تقريبا أثناء زمن حياته بأن يحرق وقودا نوويا، محولا الهيدروجين إلى هيليوم، والهليوم إلى عناصر أثقل. ولكن النجم عندما ينفد وقوده يكون عليه أن يتقلص لأكثر. وإذا كان ثقيلا بما يكفى (بأن تكون كتلته عند نهاية حياته هى على الأقل عدة أمثال لكتلة الشمس) يظل قلبه يتقلص كل الطريق ليصل إلى نجم نيوترون (أو حتى فيما يحتمل إلى ثقب أسود)، ويصير سوبر نوفا تنفجر طبقاتها الخارجية بعيدا فى الفضاء، ويسطع زمنا وجيزا ناصعا مثل مجرة بأكملها من نجوم التتابع الرئيسى. على أن هذا ليس هو نوع السوبرنوفا الذى نهتم به هنا.

إذا بلغ النجم نهاية حياته وكانت كتلته تبلغ حوالى كتلة شمسنا، فإنه لن يكون ثقيلا بما يكفى لأن يتقلص كل الطريق ليصغر إلى نجم نيو ترون. وبدلا من ذلك فإنه سينهى حياته كقزم أبيض، أى نجم له تقريبا نفس كتلة الشمس فى حجم كرة تقرب من حجم الأرض. وهذا النجم وحده بذاته، سيقبع ساكنا ببساطة فى هذه الحالة للأبد، ويبرد تدريجيا وهو يشع بعيدا آخر ما فيه من حرارة. إلا أن معظم النجوم لا تكون وحدها بذاتها - فهى تكون فى أزواج،، أو فى منظومات أكثر تعقدا. وعندما يكون القزم الأبيض فى منظومة ثنائية فإنه يستطيع تدريجيا أن ينتزع المادة من النجم المرافق له، كنتيجة لقوى مدجزرية (خاصة بعد أن يترك رفيقه التتابع الرئيسى ليصبح عملاقا أحمر). وينساب تيار المادة من النجم المرافق إلى القزم الأبيض ليزيد تدريجيا من مادته، حتى نقطة حاسمة يجب عندها أن ينتج حدث ما.

تعرف هذه النقطة الحاسمة بأنها حد شاندراسيخار (أو كتلة شاندراسيخار)، وهى أقصى كتلة يمكن أن تكون للنجم القزم من غير أن يتقلص ليصبح نجم نيو ترون. وهذا حد دقيق للغاية، ويبلغ ١,٤ مثل لكتلة شمسنا، وما يحدث عندها أمر مفهوم للغاية بلغة من معادلات فيزياء الكم. وهذا هو ما يصنع السوبر نوفا من نوع ١ (أ) - نجم قزم أبيض كتلته أقل من حد شاندرا سيخار يكوم تدريجيا المادة من النجم المرافق حتى الوصول إلى النقطة الحرجة فيتقلص، مطلقا تفجرا من الطاقة.

والشئ الجميل في هذ الشأن أنه لا أهمية لما تكونه كتلة القزم الأبيض في بداية الأمـر. ولكنه عند نقطة انفـجـاره تكون له بالضبط كـتلة شانـدرا سيخار. وبالتالي فإن كل سوبرنوفا من نوع ١ (أ) تنفجر بنفس الطريقة، وتطلق نفس القدر من الطاقة. وكلها لها النصوع نفسه. وهذا هو ما أعنيه عندما أقول أن هذا المؤشر للمسافة مؤسس على أسس فيزيائيه سليمة.

على أنه قبل وفود (هتف)، حتى وإن كان من الممكن أن نقيس نصوع السوبر نوفات الظاهرى فى المجرات البعيدة، إلا أنه لم يتم تنفيذ غير قياسات مباشرة قليلة جدا للمسافات لأى من المجرات المضيفة، باستخدام التكنيك القيفاوسى (أطلق تليسكوب هتف فى ١٩٩٠، ولكنه لم يكن يصلح لأى بحث من هذا النوع حـتى تم تصـحيح بصرياته فى ديسمبر ١٩٩٣). ومـهمـا كان مـا تقوله النظرية، فإنه لا يمكن تقبل التكنيك كشئ يعتمد عليه إلا إذا أمكن قياس المسافات إلى العديد من هذه المجرات المضيفة، لإثبات أن السوبرنوفات من نوع ١ (أ) لهـا حـقـا النصـوع نفسـه عند ذروة ضيائها.

وحتى أعطى للقارئ بعض فكرة عن مدى أهمية ما كانت عليه كل قطرة من المعلومات (وحتى ألقى ضوءا كاشفا على قيمة الاحتفاظ بسجلات جيدة)، سأسرد ما جرى منذ زمن قريب يرجع إلى ١٩٩٥ من إسهام مهم فى الأبحاث على ثابت هابل مما قام به أحد الباحثين وهو يحلل سلسلة من الألواح الفوتوغرافية التقطت بالضبط فيما سبق ذلك مائة سنة، أى فى ١٨٩٥، عندما كان عمر هابل نفسه ست سنوات لا غير.

بينت هذه الألواح نصوع أحد السوبر نوفات وما تلى ذلك من شحوبه، وقد تعين الآن (من البراهين الموجودة على هذه الألواح) أن هذا السوبر نوفا من نوع ١ (أ) فى مجرة إن جى سى ٥٢٥٣ NGC 5253. وقد أصبح للألواح أهميتهما فى منتصف تسعينيات القرن العشرين لأن آلان سانديج ومشاركيه سجلوا فى ١٩٩٤ أنهم قد عينوا وجود قيفاوسيات فى إن جى سى ٥٢٥٣ (باستخدام بيانات «هتف»)، وحصلوا على المسافة إلى المجرة. وبالتالى، فقد عاد برادلى شيفر فى جامعة ييل إلى الألواح الفوتوغرافية الأصلية (التى يكاد عمرها يصل إلى مائة عام وأجرى لها مسحا مستخدما التكنولوجيا الحديثة ليصل إلى قياس دقيق للنصوع الظاهرى للسوبرنوفا، معايرا إياه إزاء نصوع النجوم فوق الألواح، التى ما زالت حتى الآن (بخلاف السوبر نوفا) يمكن رؤيتها وتحليلها. واحسن قيمة (فى الغالب المرجح) وجدها شيفر لثابت هابل عن طريق هذا السوبر نوفا الوحيد هى ٥١±٧، وإن كان شيفر بسبب عدم وجود غير قلة من الألواح التى تظهر سوبر نوفا ١٨٩٥، لم يكن لديه هكذا سجل كامل لبزوغه وأفوله، وبالتالى فليس هناك ما يكفى من الأدلة لأن نستبعد تماما قيما أعلى هونا أو أقل هونا. ونشر شيفر نتائجه بعد مرور مائة عام بالضبط على وصول السوبرنوفا إلى أقصى نصوع له.

عندما يفد لنا طائر سنونو واحد فإن هذا لا يعنى وفود الصيف، ولا يمكن لأحد أن يثق فى أن لوحا فوتوغرافيا عمره مائة سنة يخبرنا فى حد ذاته بعمر الكون. على أن تحليلات بيانات السوبر نوفا أخذت تتراكم فى السنتين التاليتين لتحليل شيفر، وكانت كلها تشير إلى نفس الاتجاه. ويرجع مصدر قوة هذا التكنيك فى جزء منه إلى أن هذه السوبر نوفات يمكن رؤيتها على مسافات ليست مجرد ميجا فراسخ محدودة، وإنما تتجاوز تماما البليون من الفراسخ، بحيث أنها ما أن تتم معايرتها حتى توفر لنا مسبرا تسبر به آفاق الكون البعيدة، فتفتح لنا مرة أخرى إمكانية قياس انحناء المكان (تطرح النتائج المبكرة لهذه الأبحاث أن الكون مفتوح بالكاد، ولكن الحكم النهائى لم يتقرر بعد).

تشير كل النتائج السوبر نوفا التى وصلتنا منذ ١٩٩٥ إلى الاستنتاج نفسه فى الغالب، وسجل فريق سانديج فى ١٩٩٦ تحليلا آخر يطرح أن قيمة (H) هى ٥٧ ± ٤ و وفى السنة نفسها استخدم دافيد برانش وزملاؤه فى جامعة اوكلاهوما بيانات (هتف) عن المسافات القيفاوسية للمجرات المضيفة لهذا النوع من سوبر نوفات ١ (أ)، وذلك لمعايرة مقياس المسافة السوبرنوفى وخرجوا من ذلك برقم ٥٧ ± ٥. وقال لى برانش «لا يمكن وجود قيمة فوق السبعين من وجهه نظر عالم السوبر نوفا»، ثم قال «إذا كان هناك ما يقلقنى فهو أن رقما من حوالى الستين قد يكون أعلى مما يجب وليس أقل مما يجب»، وأجرى شيفر استعراضا نشره أيضا فى ١٩٩٦، عن عشرة أحداث من نوع ١ (أ)، مستنتجا أن H = ٥٥ ± ٣.

على أنى اهتممت بوجه خاص بنتيجة برانش فى ذلك الوقت (وما زلت مهتما بها للآن) وذلك لأنه أسهم أيضا قبلها بسنة فى دراسة أخرى للمشكلة، كانت تتجنب الحاجة إلى استخدام القيفاوسيات كمؤشرات للمسافة. فقد استنبط المنظرون من علماء الفيزياء الفلكية معادلة تبين العلاقة بين أقصى نصوع للسوبر نوفا وكذلك أيضا الوقت الذى يستغرقه السوبر نوفا للوصول إلى أقصى نصوع له، وبين الطاقة التى تروح فى الأنفجار. وكما يمكن توقعه، فإن الأنفجار الصغير يصل سريعا إلى درجة قصوى ضعيفة، بينما يستغرق الانفجار الكبير زمنا أطول ليصل إلى درجة قصوى أكبر. وبتطبيق هذه القاعدة على ما قيس من «أوقات طلوع» أربعة من سوبر نوفا نوع ١ (أ)، خرج فريق أوكلاهوما بقيمة لـ (H) تبلغ ٥٠، مع درجة عدم يقين كبيرة نوعا (+ ١٢، - ١٠)، بما يعنى إن الفريق لم يستطع أن يستبعد أى قيمة من ٤٠ حتى ٦٢ (نتجت أوجه عدم اليقين عن الأرصاد وليس عن النظرية؛ ومن النادر أن نلتقط فى صورة فوتوغرافية البداية الأولى لأحد السوبر نوفات، بحيث أن قياسات أوقات طلوعها لا تكون دقيقة). إلا أن الأمر لا يقتصر على أن هذا الرقم يتفق بالفعل مع كل القياسات الأخرى السوبر نوفية (ومع القياسات التقليدية لسانديج وتمان)، وإنما نحن نتوصل إليه من غير أن نستخدم القيفاوسيات مطلقا.

قد أوضحت الآن أهمية هذه النقطة، على أنى من أجل استكمال الأمر سأذكر فحسب آخر النتائج المتداولة فى ربيع ١٩٩٨، والتى حصل عليها باحثون فى مرصد ليون. وترجع أهمية هذه الدراسة إلى إنها قد استخدمت بيانات من القمر الصناعى هيباركوس (وهناك المزيد عن ذلك فى الفصل القادم)، الذى توصل إلى مسافات أدق للتغير الظاهرى الهندسى لنجوم فى مجرتنا نحن، مما أدى إلى معايرة أدق هونا لمقياس المسافة القيفاوسى. وباستعمال هذا المقياس المحسّن للمسافة من أجل حساب المسافات إلى مجرات أربع شوهد فيها سوبر نوفات من نوع ١ (أ) (بما فى ذلك إن جى سى ٥٢٥٣)، خرج الفريق الفرنسى بقيمة لثابت هابل هى ٥٠ ± ٣. ومع أن حدود خطأ هذا الرقم قد يكون فيها شئ من التفاؤل، فسوف نرى فى الفصل الثامن السبب فى حرصى على تضمين هذا التقدير الأخير لمقياس المسافة السوبر نوفى.

ولكنى أود قبل الوصول إلى ما يخصنى من أبحاث، أن أتناول تلك النقطة فى بحث فريق أوكلاهوما عام ١٩٩٥ - نقطة أن فى الإمكان الآن قياس مسافات كونية من غير أن نستخدم القيفاوسيات مطلقا. فهذه التكنيكات ما زالت فى مستهل طفولتها، وهذا هو أحد الأسباب فى أن بعضها له حدود خطأ كبيرة. ولكن هذه الحدود للخطأ هى على الأقل متداخلة كلها أحدها مع الآخر، ومع النتائج التى يتم الحصول عليها بما يمكن أن يسمى الآن بأنه تكنيكات كلاسيكية. ويخبرنا هذا بشئ عميق جدا عن الكون وفهمنا له.

من التنبؤات الأساسية لنظرية النسبية العامة الطريقة التى ينحنى بها الضوء عندما يمر بجوار جرم كبير الكتلة. ونظرية اسحق نيوتن عن الجاذبية تتنبأ أيضا بالفعل بظاهرة عن انحناء الضوء، ولكنه ليس انحناء كبيرا كما فى ظاهرة انحناء الضوء التى تنبأت بها نظرية أينشتين. وقد أُجريت القياسات لانحناء الضوء وهو يأتى من نجوم بعيدة ليمر قريبا من الشمس قربا وثيقا، ورُصد ذلك أثناء كسوف فى ١٩١٩، والحقيقة أن هذه القياسات هى التى أكدت صحة نظرية النسبية العامة، وجعلت أينشتين مشهورا. وأدرك أينشتين نفسه أنه فى الظروف الملائمة يمكن لهذا الانحناء للضوء أن يكون له فعله كنوع من عدسة جذبوية، عند وجود كتلة مركزة على طول خط رؤية جرم بعيد جدا، فتركز هذه الكتلة الضوء الآتى من ذلك الجرم فى بؤرة وتجعل الجرم مرئيا للتليسكوبات التى فوق الأرض.

كتب أينشتين عن العدسة الجذبوية كنبوءة نظرية فى ثلاثينيات القرن العشرين. ثم أدرك علماء الفلك فى منتصف الستينيات أنهم إذا حدث لهم قط أن وجدوا بالفعل عدسة جذبوية تعمل مفعولها فى الكون، فإنه ينبغى أن يكون فى الإمكان استخدام الصور الناتجة عن ظاهرة التعديس لتحديد ثابت هابل. إلا إنه لم يحدث إلا فى ١٩٧٩ أن تم تعيين أول مثل واضح محدد لصورة مزدوجة فى السماء نتجت عن التعديس الجذبوى. واقتضى الأمر مرور فترة سبعة عشر عاما أخرى من الأرصاد والأبحاث النظرية حتى تمكن

علماء الفلك من استخدام البيانات الآتية من هذا الجرم، وهو كوازار يعرف بالأرقام ٠٩٥٧ + ٥٦١، وذلك للحصول على تحديد لقيمة (H) يعتمد عليه.

تعد الطريقة التى تستخدم لجنى قيمة لـ (H) من أرصاد الصور المتعددة، طريقة مباشرة جدا رياضيا، ولكنها تتطلب بعض تفاصيل جبرية وهندسية لن أدخل فيها هنا. وما يهمنا هو أنه فى الأمثلة القوية للتعديس الجذبوى، ينتج عادة عن الظاهرة إما صورتان أو أربع صور للجرم البعيد، لأن الضوء ينتقل من الجرم إلى تليسكوباتنا باستخدام مسارين أو أربعة مسارات مختلفة حول الكتلة المعترضة. وحيث أن الضوء الذى يأتى من أحد هذه المسارات يكون قد انتقل بمسافة مختلفة عن الضوء الآتى من مسار آخر، فإنه يستغرق مقدار زمن مختلف ليصل إلينا. ويتوقف مقدار الزمن الذى يستغرقه على هندسة الموقع، ومقدار كتلة العدسة (وطريقة توزيعها)، والمسافة الفعلية للجرم البعيد.

يستغرق الضوء الذى يشكل إحدى الصور قدرا معينا من الزمن حتى يصل إلينا، ويستغرق الضوء الذى يشكل صورة أخرى قدرا مختلفا من الزمن حتى يصل الينا. ويعتمد زمن كل رحلة على المسافة «بطول كل مسار»، وهذه تعتمد على خصائص العدسة وعلى الإزاحة الحمراء للجرم البعيد (التى يمكن قياسها) وعلى ثابت هابل (وتعتمد أيضا اعتمادا هينا على انحناء الكون، ولكنه فحسب اعتماد هين). ونحن نحتاج أيضا إلى معرفة الإزاحة

الحمراء للجرم الذى يقوم بدور العدسة، ويكون هذا عادة مجرة بأكملها، تبدو مرئية بين صور الجرم الأكثر بعدا، ولكنها فى الواقع تكون أقرب إلينا كثيراً على طول خط الرؤية . وبمقارنة نصوع الصورتين (الذى يعتمد أيضا على خواص العدسة)، والإزاحات الحمراء وفارق الزمن، يكون فى الإمكان إلغاء كل شئ آخر فى المعادلات لتبقى لنا قيمة (H) .

هناك مشكلتان فى هذا الأمر . فالخطوة الأولى الجوهرية فى العملية كلها هى قياس الفارق الزمنى لانتقال الضوء عبر المسارين المختلفين حول العدسة الجذبوية . وحتى يقيس الراصد ذلك فإنه يود أن يرى تغيرا مفاجئا واضح التحدد فى إحدى الصور - وربما يكون ذلك نصوعا قصير العمر أو توهجا، أو تعتيما مفاجئا . ثم يبدأ الراصدون فى عد الأيام حتى تظهر الصورة الأخرى نفس النمط بالضبط من نشاط التوهج (أو الإعتام) . والفارق الزمنى هو التأخير فى الوقت الذى يعد المفتاح اللازم للحساب (التأخيرات الزمنية المتضمنة تكون نمطيا بمقدار من عشرات معدودة أو مئات معدودة من الأيام) . ولسوء الحظ فإن أفضل الأجرام المرشحة لهذا النوع من البحث هى الكوازارات، وهى أجرام نشطة جدا، وبعيدة جدا بإزاحات حمراء كبيرة، ولكن كل واحد منها يكون مركّزا فى حجم صغير، بحيث أنها تبدو فى السماء كنقط ضوء تشبه النجوم (الكوازارات هى فيما يحتمل قلوب مركزية نشطة جدا لمجرات صغيرة السن، مصدر طاقتها ثقوب سوداء فائقة الكتلة) .

الطريقة التى نعّين بها عدسة جذبوية وهى تعمل تكون عندما نجد كوازارين (أو أكثر) قريبين قربا وثيقا فى السماء، ولهما بالضبط نفس الطيفين والإزاحة الحمراء، بما يوضح أنهما فى الحقيقة صور مختلفة للجرم نفسه. إلا أن الأمر الذى يؤسف له هو أن معظم الكوازارات هى وحوش روّضت نوعا، وليست عرضة لتغيرات مفاجئة درامية فى نصوعها. وفى حالة كوازار ٠٩٥٧ + ٥٦١، نجد أنه على الرغم مما كان من علامات منذرة زائفة عديدة، لم يحدث إلا فى ٩٥ ـ ١٩٩٦ أن وقع تغير مفاجئ فى نصوع إحدى الصور تبعه على نحو لا لبس فيه التغيير نفسه فى الصورة الأخرى بعد مرور ٤١٧ يوم (أى بعد مرور أكثر من سنة؛ وطول زمن التأخير هو سبب آخر فى أن هذه الأبحاث تستغرق زمنا طويلا هكذا). والقيمة المتفق عليها للتأخير الزمنى فى هذه المنظومة بالذات هى الآن ٤١٧ ± ٣ يوم.

وها هنا يدخل المنظرون. فسيكون من السهل تحويل هذا الفارق الزمنى إلى قيمة لـ (H) إذا عرفنا بالضبط كيف تتوزع كتلة العدسة الجذبوية (تشمل العدسة نفسها عنقودية من مجرات بأكملها، وإن كانت جاذبية مجرة واحدة بالذات هى التى تهيمن على الظاهرة). وإذا كانت كل كتلة العدسة مركزة مثلا فى كعبرة واحدة سنحصل على قيمة معينة لـ (H)؛ ولكن إذا كان القدر نفسه من الكتلة موزعا فى كعبرتين (أو أكثر)، سنحصل على قيمة مختلفة لـ (H) من كل توزيع للكتلة. ويستطيع المنظرون أن

يحسبوا توزعات مختلفة عديدة للكتلة يتفق كل منها مع الأرصاد البصرية لمنظومة العدسة. على أن علماء فلك الراديو يدخلون إلى قصتنا عند هذه النقطة. وقد توصلوا إلى خرائط راديو لكوازار ٠٩٥٧ + ٥٦١ تبين أن للكوازار نافورة من المادة تنبثق خارجة منه، مع خمس «عقد» واضحة في النافورة. وتظهر العقد الخمس نفسها في كل من الصورتين، وبمقارنة نصوع العقد المفردة في كل صورة تمكن المنظرون من استنباط أفضل نموذج واحد لطريقة توزيع الكتلة التي تسبب ظاهرة العدسة. على أنه يبقى حتى بعدها بعض عدم اليقين فيما يتعلق بتوزيع الكتلة، وهذا هو السبب الرئيسي فيما بقي من حدود الخطأ حول الرقم الناتج. تناولت هذه المشكلة فرق مختلفة عديدة في ١٩٩٧، خرجت بأرقام مختلفة هونا وبتقديرات للخطأ تختلف أيضا أختلافا هينا، كلها في نطاق ملعب الكرة نفسه. فوجد فريق أن قيمة (H) هي ٦٤ ± ١٥، وفريق وجد أن قيمتها ٦٣ ± ١٢، ووجد آخر أنها ٦٢ ± ٧، وكلها تطرح أن الكون مسطح (إذا كان الكون بالفعل مفتوحا بالكاد، ينبغي أن تكون هذه الأرقام أقل قليلا). والقيمة الثالثة هي فيما يحتمل أكثردقة حقا، لأنها تستخدم بيانات طيفية أخذت بتليسكوب كيك في هاواي، الذي كان وقتها أقوى تليسكوب في العالم مثبت على الأرض، ويبلغ عرض مرآته ١٠ أمتار (حوالي ٤٠٠ بوصة)، على أن آخر كل التقديرات تزعم أن عدم اليقين قد انحفض إلى ٥٩ ± ٣,٥.

وباعتبار أن هذه أول نتيجة واضحة محددة لتكنيك التعديس الجذيوى، فإنها لنتيجة تثير الأعجاب، وتتفق على نحو مريح مع قيم (H) الأخرى التى ناقشناها (على أن ندخل حدود الخطأ فى الحساب). إلا أنه حتى يكون علماء الفلك واثقين ثقة مطلقة من نجاح التكنيك، فإنهم يودون لو كان لديهم على الأقل أربع منظومات لعدسات جذبويه مختلفة، كلها تعطى الإجابة نفسها. وحتى الآن فإن لديهم منظومتين فقط - ٠٩٥٧ + ٥٦١، ومنظومة رباعية (*) تعرف بأنها بى جى ١١١٥ + ٠٨٠(فيما يعرض فإن الأرقام فى كل هذه «الأسماء» تناظر موضع الأجرام فى السماء، أى خط العرض وخط الطول الكونيان، وقد كانت بى جى ١١١٥ + ٠٨٠ ثانى منظومة من العدسات الجذيوية يتم تعيينها، وذلك فى ١٩٨٠).

والمنظومة الرباعية تكون من بعض النواحى أفضل لعلماء الكونيات. فبدلا من أن يقارنوا النصوع والتأخير الزمنى لصورتين اثنين فقط، فإنهم يستطيعون مقارنة كل صورة من الصور مع الثلاث الأخرى. ولكن قيمة (H) التى نحصل عليها من المنظومات الرباعية تكون حتى أكثر حساسية لطريقة توزيع الكتلة فى العدسة نفسها، بحيث يكون صنع النموذج أكثر حتى فى أهميته. وقد وجد علماء الفلك عند نهاية ١٩٩٦ أن تغير النصوع فى أحد مكونات هذه المنظومة الرباعية بعينها يعقبه تغير مطابق فى اثنين من المكونات الأخرى بعد حوالى تسعة أيام ونصف

(*) المنظومة الرباعية يظهر فيها بتأثير العدسة الجزيوية أربع صور للكوازار البعيد. (المترجم)

اليوم، ثم فى المكون الرابع بعد ذلك بأربع وعشرين ساعة. وتفسير هذه القياسات يعتمد اعتمادا حاسما على صنع النموذج، على أن النتيجة عندما أعلنت، سببت فورة مرح قصيرة فى بعض التقاير الصحيفة، وذلك لأن أبسط نموذج كان يدل على أن قيمة (H) هى ٤٢ (مع حدود خطأ من ± ٦). وكان فى هذا إغراء بانتقاد كتاب دوجلاس آدم «دليل المسافر بالتطفل إلى المجرة»، وتسجيل أن «الإجابة عن الكون هى ٤٢»، أمر قد ثبت أنه مما لا يقاوم عند بعض الجماعات، حتى وإن كانت قراءة ورقة البحث قراءة أدق تبين أن التوزيع الأكثر واقعية لكتلة العدسة يطرح أن قيمة H ٦٤ ± ٩، كما أن قيمة مرتفعة من ٨٤ ± ١٢ لا يمكن استبعادها (تكون الأخطاء أكبر مع قيم (H) الأكبر لأن الأخطاء فى هذه الحالة تكون كلها بنفس النسبة المئوية، وهى حوالى ١٤ فى المائة).

شرع فى معالجة هذا البحث فريق من مركز سميثسون للفيزياء الفلكية بها رفارد، فى كمبردج، بولاية ماسا تشوستس، وقد طرح الفريق أولا قيمة لثابت هابل هى ٦٠ ± ١٧ (تأسست على عمل نموذج محسن لنفس منظومة العدسة الرباعية)، ثم زاد أفراد الفريق من تنقيح نماذجهم فى صيف ١٩٩٧، ليخرجوا بقيمة من ٥١ ± ١٣، وما زالت هذه القيمة (فى ربيع ١٩٩٨) تبدو أحسن تقديرات الموقف وأكثرها أمانة فيما يتعلق بكوازار ب جى ١١١٥ + ٠٨٠، وإن كان هناك نموذج يختلف أختلافا هينا

ويعطى قيمة من ٥٣ ± ٩ .

توجد منظومتان أخريتان فقط لم يُسجل فيهما سوى قياسات تأخير زمن تمهيدية، ومع أن من المعروف الآن أن هناك حوالى أربعين منظومة كوازارية متعددة الصور، إلا أن معظمها أشد شحوبا من أن تكون من الاختيارات الجيدة لهذا النوع من البحث (ربما لأنها أشد شحوبا من أن تمكن من قياس الإزاحات الحمراء لبعض مكوناتها، أو أشد شحوبا من أن تمكن من تسجيل ارتعاش صور الكوازار تسجيلا يعتمد عليه، أو ربما للسببين معا) . على أنه يبدو أننا على وشك ترسيخ هذا التكنيك كأداة لها قيمتها بالمقارنة مع التكنيكات التقليدية وتكنيك السوبر نوفا مما يستخدم لقياس (H) . التكنيك التالى الذى أود أن أحدث القارئ عنه تكنيك يصعب العمل به حاليا صعوبة محبطة، إلا أن فيه ما يبعث أفضل الآمال كلها للحصول على منظور كونى حقيقى عن سرعة تمدد الكون.

بعد اكتشاف تمدد الكون، نجد أن واحدا من أهم كل الأرصاد الكونية هو ماتم فى ستينيات القرن العشرين من اكتشاف هسيس ضعيف من ضوضاء الراديو(الأشعة اللاسلكية) يملأ الكون ويعرف الآن بأنه إشعاع خلفية الكون من الموجات الميكروويفية . وقد شرحت المغزى الكامل لهذا الأكتشاف فى كتابى «البحث عن الأنفجار الكبير» ؛ وما يهمنا هنا هوأن هذا الإشعاع يفسَّر على أنه الحرارة المتخلفة عن كرة النار الكونية التى ولد بها الكون، أى الأنفجار الكبير نفسه. ومع تمدد الكون حدث لهذا الإشعاع ازاحة

حمراء وتبريد حتى أصبحت درجة حرارته الأن هى فقط ٢,٧ درجة فوق الصفر المطلق، بما يناظر،ناقص، ٢٧٠,٣ على مقياس سلسيوس المعروف. ويأتى هذا الإشعاع من كل إتجاه فى السماء، وكان قد سبق التنبؤ به من نماذج الإنفجار الكبير؛ والحقيقة إن اكتشافه كان برهانا حاسما أقنع الكثيرين من علماء الفلك والفيزياء أنه كان يوجد حقا انفجار كبير. على إن إكتشاف ضوضاء الراديو هذه(التى تماثل إشعاعا من فرن ميكروويف بارد جدا جدا) وإن كان حتى إنجازا مثيرا للأعجاب، إلا إن علماء فلك الراديو يستطيعون الأن الكشف أيضا عن فروق دقيقة الصغر فى قوة الإشعاع (أى فروق دقيقة الصغر فى الحرارة) فى بقع مختلفة من السماء، ثم يستخدمون ذلك لتحديد قيمة ثابت هابل، وبالتالى تحديد عمر الكون.

ويعتمد هذا التكنيك على ما يسمى ظاهرة سنييف – زلدوفيتش على اسمى عالمى الفلك رشيد سنييف وياكوف زادوفيتش اللذان تنبآ بالظاهرة فى أوائل سبعينات القرن العشرين، فى زمن يسبق كثيرا الوقت الذى أصبحت فيه تكنيكات علم فلك الراديو فيها من الحذق مايكفى لقياس الظاهرة. وعادة ما يشار إليها إختصارا بأنها ظاهرة إس– زد(s-z). ومايحدث هوأنه عندما يمر إشعاع الخلفية خلال مجموعة عنقودية من المجرات، فأن الغاز الساخن فى العنقودية(ما بين المجرات) يتفاعل مع الفوتونات التى تصنع إشعاع الخلفية ويضفى عليها دفعة دعم صغيرة من الطاقة. ودرجة

حرارة هذا الغاز تصل إلى مئات عديدة من ملايين الدرجات. ودفعة الطاقة الداعمة التى يضفيها الغاز على الفوتونات تطابق إزاحة الفوتونات لأطوال موجات أقصر. ومع أن هذا يعنى عموما أن الإشعاع الذى يمر خلال العنقودية قد أصبح أسخن قليلا، فإنه يتفق لا غير أن هذه الفوتونات التى أضيفت عليها دفعة الدعم بهذه الطريقة تؤخذ بعيدا عن منطقة الطيف التى تكون تليسكوبات الراديو حساسة لها، وبالتالى فإنها من حيث أرصاد الراديو المختصة بها تصبح مفقودة، ويبدو الإشعاع فى هذا الجزء من الطيف أبرد هونا، وليس أسخن. وتأثير الظاهرة هو حقا صغير جدا - تغير فى درجة الحرارة يبلغ حوالى جزء واحد من عشرة آلاف، أو ١ .و. فى المائة، وذلك من درجة حرارة هى نفسها أقل من ثلاث درجات مطلقة - على أنه قد تم قياس الظاهرة الآن فى عنقوديات قليلة. والحقيقة إن إشعاع الخلفية الكونية من الموجات فى الميكروويفية تكون له عند أطوال موجات الراديو، وهو فى اتجاه عنقوديات المجرات، درجة حرارة أبرد بهذا المقدار دقيق الصغر عما تكونه درجة حرارته فى سائر السماء.

وهذا فى حد ذاته اكتشاف مهم لأنه يؤكد، فى حالة ما إذا كان هناك أى فرد ما زال حقا يشك فى الأمر، أن إشعاع الخلفية هو حقيقة هكذا فحسب - أى أنه إشعاع «خلفية» يأتى من أبعاد سحيقة جدا عبر الكون، بما هو أبعد من عنقوديات المجرات. وهذا دليل إضافى يرحب به لإثبات أن هذا الإشعاع بدأ أصلا بالإنفجار الكبير. ولكن كيف يمكن لظاهرة إس - زد أن تجعلنا نعرف قيمة (H)؟

عندما نعرف قوة ظاهرة إس - زد بالنسبة لعنقودية معينة (أى المقدار الذى أنخفضت به درجة حرارة اشعاع الخلفية) فإن هذا ينبئنا بمقدار الغاز الموجود فى العنقودية على طول خط الرؤية خلال العنقودية، والذى أثر فى فوتونات الخلفية الميكروويفية. على أنه يمكن أيضا فى بعض الحالات الكشف عن الغاز الشاحن فى العنقودية عند أطوال موجات أشعة إكس، وذلك من أقمار صناعية مدارها فوق جو الأرض (وهذه الأقمار تعترض بالطبع سبيل أشعة إكس) ويقاس مقدار أشعة إكس الآتية من العنقودية، وهذا القياس مع قياسها الزاوى فى السماء، يعطينا تنبؤا بقوة تأثير ظاهرة إس - زد بالنسبة لهذه العنقودية. وبالتالى فإن قياس قوة ظاهرة إس - زد الفعلية ومقارنته بهذا التنبؤ يعطينا قيمة (H).

وبالطبع فإن الأمر ليس بهذه البساطة عن التطبيق. ومرة أخرى يأتى صنع النماذج ليدخل فى الحسابات. ويكون كل شئ على ما يرام إذا كانت العنقودية كروية، حيث الغاز الساخن يتوزع فى كرة مستديرة. وعندها، يكون عمق العنقودية على طول خط الرؤية مماثلا لعرضها فى السماء، ويكون صنع النموذج أمرا مباشرا واضحا. أما إذا كانت العنقودية لها فى الواقع شكل السيجار، بحيث يكون المحور الطويل موجها نحونا، فإنها قد تبدو مستديرة فى حين أن الحقيقة هى أن إشعاع الخلفية الكونية قد مر خلال كل طول السيجار بأكثر كثيرا من عرض العنقودية فى السماء. وفيما

يحتمل فإن معظم العنقوديات كروية تقريبا، ولكنها قد تكون مكعبرة بعض الشئ، أو اهليلجية بعض الشئ (أو الإثنين معا)، والنماذج المستخدمة لا يمكن أن تتأسس إلا على توليفة من الأرصاد مع تخمينات ملهمة. وبالإضافة فإن القياسات الفعلية صعبة جدا، وتتطلب ساعات طويلة من وقت استخدام تليسكوب الراديو. وحتى الآن فإن النتائج من ظاهرة إس - زد لها حدود خطأ كبيرة جدا. ولكن حتى مع هذا فإنها توفر تأكيدا دراميا بأن ما أخبرت القارئ به حتى الآن فى هذا الكتاب كله صحيح.

سيخبرنا حتى أشد نقاد تكنيك إس زد أنه فى بداية ١٩٩٨ كان يعطى تقديرا لـ (H) فى مدى من ٣٠ إلى ١٠٠ (وأنا أعرف ذلك لأنى سألت هؤلاء النقاد عن رأيهم). وهم يقصدون أن ذلك فيه تهمة لعينة لتكنيك يبلغ من عدم فائدته أنه لا يستطيع حتى أن يميز بين مزاعم أنصار القضايا فى الخلاف القديم بين مدرسة فوكولير الفكرية ومدرسة سانديج - تمان الفكرية. إلا أن هذا يغفل نقطة أن ظاهرة إس - زد طريقة مستقلة تماما لقياس ثابت هابل، تستطيع الاستفادة من عنقوديات المجرات البعيدة جدا والإشعاع الآتى من الانفجار الكبير نفسه، حاذفة كل درجات سلم المسافات الكونية، بل ولا تعتمد حتى على معايرة المتغيرات القيفاوسية. وهى مثل تكنيك العدسة الجذبوية تقفز إلى أعماق الكون لتعطينا قياسا كونيا حقيقيا فى وثبة واحدة.

والأمـر المذهل الرائع أن هذا التكنيك يعطى إجـابة تتـسق مع التكنيكات الأخرى. وبالأرقام المستديرة كل الإستداره، إلى أقرب قوة للعشرة، فإن قيمة (H) التى نحصل عليها من ظاهرة إس ـ زد هى ٥٠ ـ وليست ٥ وليست ٥٠٠. وعلى مسـتـوى مسـاوى من التقريب، فإن هذا يماثل الرقم الذى نحصل عليه من السلم التقليدى المؤسس على القيفاوسيات، والرقم الذى نحصل عليه من العدسة الجـذبوية. ويماثل هذا الاتفاق فى أهمـيتـه وإثارته مـا يحـدث من اتفاق بين تقديرات عمر أكبر النجوم سنا وتقديرات عمر الكون، الأمر الذى ناقشته فيما سبق. ومرة أخرى فإن ما يهمنا ليس أن يكون أحـد الأرقام أكبر أو أصـغر من الآخر بخـمسين فى المائة، وانما يهمنا أنها كلها يتفق أحدها مع الآخر اتفاقا جد قريب حتى وإن كان قد تم الحصول عليها بتكنيكات مـختلفة تماما. ولو كانت نظرية الانفـجار الكبير كلها خطأ، لكان مثل هذا الاتفاق فى هذه الحالة بين ثلاثة تقديرات مستقلة لـ (H) صدفة عجيبة. ولو كنا لا نعرف شيئا عن تاريخ البحث على ثابت هابل، أو أعمار النجوم، وإنما ابتكرنا فى التو تكنيك إس ـ زد، فربما لن يدهشنا أن نحصل على قـيـمـة مـنـخـفـضـة لـ (H) بما بمايصل إلى ٥ (أو ٠,٥)، أو أن نحصل على قيمة مرتفعة تصل إلى ٥٠٠ (أو حتى ٥٠٠٠). وليس من سبب فى أن التكنيكات الثـلاثة كلهـا ينبـغى أن تعطى إجـابات تقع فى ملعب الكرة نفسه، إلا إذا كانت تخبرنا بحقيقة أساسية عن الكون. وكان بلمان هو الذى قال فى «اصطياد الوحش الغامض» أن

«ما أخبرك به ثلاث مرات هو حقيقة»، والكون قد أخبرنا ثلاث مرات، بثلاثة تكنيكات مستقلة تماما، أن ثابت هابل له قيمة من مقدار ما يبلغ حوالى الخمسين. فهذه حقيقة.

ولكن إلى أى مدى يقترب ثابت هابل حقا من ٥٠؟ قد يكون نقاد تكنيك إس ـ زد كارهين للموافقة على أنه سيضع حدودا لقيمة H تكون أفضل من المدى بين ٣٠ إلى ١٠٠، ولكن الأفراد الذين يستخدمون هذا التكنيك بالفعل واثقون من أنهم سيستطيعون تضييق هذا المدى إلى ما هو أفضل نوعا عن ذلك.

نشأت بعض الممانعة فى الموافقة على نتائج إس ـ زد بقيمتها الظاهرية كنتيجة لما نُشر من أول النتائج جد المبكرة عن توليف أرصاد أشعة أكس مع هذا التكنيك، بما يرجع وراء إلى ١٩٩٠، حيث أعطى ذلك قيمة لـ (H) لا تقتصر على أنها منخفضة انخفاضا يثير الدهشة (٢٤) بل إن لها أيضا حدود خطأ فيها تفاؤل متطرف (±١٠). والحقيقة أنه تبين من دراسات أجريت لاحقا أن النمذجة التى استخدمت فى هذا البحث كانت خطأ، وأن الرقم الذى تم الحصول عليه كان ينبغى أن يكون على الأقل بالضعف. وكان هذا النوع من النتائج هو ما أدى حقا إلى أبحاث أكثر اكتمالا على مشاكل النمذجة، وأدى إلى أن أصبحت تقديرات الأخطاء فى النتائج التى نشرت فى منتصف التسعينيات أكثر اتصافا بالأمانة. وهناك بعض نتائج نمطية من ١٩٩٥ و١٩٩٦ تأسست غالبا على

قياسات مجموعة عنقودية واحدة، وتتضمن تقذيرا من ٣٨، ولكنها تتضمن مدى محتمل من ٢٤ إلى ٥٤، وقد توصل إلى هذه النتائج مجموعة تعمل فى جامعة كمبردج، وتوصل فريق فى معهد كالتك إلى قيمة من ٤٦ ـ ٩١ (وأفضل تقدير فيها هو ٧١)، ثم هناك قيمة من ٥٤ ± ١٤ (توصل لها نفس فريق كالتك تقريبا، ولكنها تأسست على دراسات لثلاث عنقوديات)؛ وهناك قيمة من ٣٢ ـ ٦٧ («وأفضل» قيمة فيها هى ٤٧)، وقد توصلت لها دراسة أخرى فى جامعة كمبردج.

بينها كان الراصدون ينقحون من تكنيكاتهم، كان المنظرون يمسكون فى قبضتهم بما يحتمل من مصادر الخطأ فى حسابات النماذج. وبحثت إحدى الدراسات فى طريقة تأثير ظواهر الإسقاط (أى مسألة ما إذا كانت عنقودية طويلة رفيعة تتجه مشيرة إلى الراصد أم لا) فى قيمة (H) التى نحصل عليها بتكنيك إس ـ زد. وطرحت دراسة أخرى أنه فى بعض الحالات نجد أن االتعديس الجذبوى لإشعاع الخلفية بواسطة العنقودية التى تتضمنها ظاهرة إس ـ زد قد يؤدى إلى تقدير خطأ لـ «H» (وأنا أحب بالذات هذا المثال، لأنه يوضح تماما مدى تعقد أى محاولة للكشف عن المعلومات الكونية عن طريق الأرصاد). هناك أيضا تصحيحات ترجع إلى الحاجة لإستخدام نظرية النسبية لتصف على نحو ملائم ما يجرى فى غاز العنقوديات الساخن الذى ينتج أشعة إكس. وبالإضافة، فمن المعروف جدا بين أهل المهنة أن المقدار الذى

يقاس لظاهرة إس ـ زد للعنقوديات الأكثر بعدا يتوقف على انحناء المكان ـ وهذا فى الواقع أمر طيب، لأنه يعنى أننا سنتمكن ذات يوم من استخدام ظاهرة إس ـ زد لاستنتاج ما إذا كان الكون مفتوحا أو مغلقا.

على أنه ينبغى أن أقول أنه من حيث أهدافى الحالية هنا، فإن كل هذه التصحيحات لا تزيد عن أن تكون أمورا قليلة الأهمية. فالتصحيحات المطلوبة هى نمطيا بنسبة مئوية قليلة (ما يصل إلى حوالى ١٠ فى المائة) وهى لا تتحرك كلها فى نفس الاتجاه، وبالتالى فإنها تنحو إلى أن يلغى أحدها الآخر. وهى لا تكون مهمة حقا إلا إذا أعتقدنا أننا سنقيس قيمة (H) من ظاهرة إس ـ زد بدرجة من الدقة هى أفضل من ١٠ فى المائة. ونحن للآن لم نتوصل تماما إلى ذلك، وإن كنا نقترب منه. فى ١٩٩٦، أجرى مارك بيركينشو بجامعة بريستول استعراضا لكل بيانات إس ـ زد المتاحة وقتها، واستنتج أن أفضل قيمة قيمة لـ (H) كما تأسست على بيانات من العنقوديات التسع التى درستها فرق بحث عديدة مختلفة. هى ٦٠ مع انتشارية من حوالى ± ٢٠.

على أنه حتى الآن، فإن أحسن قيم لثابت هابل كما تأسست على ظاهرة إس ـ زد، تأتت لنا أثناء ١٩٩٧ وأوائل ١٩٩٨، وذلك أثناء عملى فى هذا الكتاب، وهذه القيم تدخل فى الحساب على الأقل بعض هذه التصحيحات التى ذكرتها فى التو. وجد فريق من

جامعة كمبردج أن قيمة (H) بالنسبة لثـــلاث عنقوديــات مختلفة هى ٣٨ (+ ١٧، -١٢)، و٤٧ (+ ١٨، - ١٢) و ٥٦ (+ ١٨، -١٣) - والأمـر المهم هنا هو أن كل هذه الحـدود للخطأ تتـداخل بالنسبـة لقيـمة لـ (H) فى أدنى الخمسينيات. ويبـدو لى أن أنقى وأفضل تقدير لـ (H) من أرصاد إس - زد لعنقودية واحدة (تعرف بـاسـم سـى إل ٠٠١٦ + ١٦، 16، + CL0016، وهـى ثـالـث العنقوديات التى درسها فريق كمبردج) هو تقدير أتى من جون هيوز من جـامعة روتجرز، هو ومـارك بيركنشو، وذلك فى ورقة بحث تم تداولها فى يناير ١٩٩٨، وقد وجدا أن قيمة (H) هى ٤٧ (+ ٢٣، - ١٥) بالنسبـة لنموذج بسيط للعنقودية، ولكنهـما بعد أن أدخـلا حسـاب الأخطاء المحـتملة التى ترجع إلى هندسـة وتوجـه العنقودية، وإلى عوامل أخرى، توصلا إلى مدى لـ (H) من ٤٢ - ٦١، مع إمكان وجـود خطأ عـشـوائى آخـر من ± ١٦ فى المائة. وأحسن قيمة لهما قد تم استنباطها من نموذج كون معين مفتوح، إلا أن مدى الاحتمالات التى ذكرت يأخذ فى الحسبان، بين أمور أخرى، الاحتمالات الكونية المتطرفة التى تتسق مع الأرصاد.

ومع كل ما حدث من تحسينات أثناء ١٩٩٧ على يد فرق بحث مـختلفة، بما فى ذلك البحث الخاص بهيوز وبيركنشو نفسيهما، فإنهما توصلا إلى مـا أسمياه قيمة «متوسط الطاقم» لـ (H)، التى تتأسس على العنقوديات التسع نفسها (بما فى ذلك سى إل ١٦ .. + ١٦) التى ناقش بيركنشو أمرها قبل ذلك بسنة، وهذه القيمة هى

(H) = ٤٧,١ ± ٦,٨ كم/ ثانية فى الميجا فرسخ. وكما يقران هما نفسيهما، ينبغى إلا نأخذ بجدية بالغة ما يدل عليه وجود العلامات العشرية من تدقيق؛ وكذلك أيضا بالنسبة لما ذكر من حدود الخطأ، وإن كانت قد أخذت تقترب من نسبة العشرة فى المائة السحرية. على أننا لو كنا نريد رقما واحدا نذكره لقيمة ثابت هابل ومؤسس على أرصاد إس - زد فى وقت يصل لأوائل ١٩٩٨، فإن هذا هو الرقم الذى ننشده.

وهكذا يبدو أن كل هذا قد خرج بنا من خلاف سبيعنيات القرن العشرين إلى حال جميل من الإتساق - فيما عدا وجود آفتين فى الوصفة. ولكنهما فحسب آفتان صغيرتان، وقد أخذتا تنكمشان فى النصف الثانى من التسعينيات، بما يطرح أنهما قد تختفيان سريعا (ربما حتى قبل ينتهى القارئ من مطالعة هذه الكلمات). وأول هاتين الآفتين ظلت تحيرنا كل الحيرة لما يقرب من عقدين، وعندما بدأت أخطط لهذا الكتاب كان شاغلى الأكبر هو كيف سأشرح النتائج التى تتولد عن تكنيك يسمى علاقة توللى - فيشر (أو تى - إف، T- F) ، على أنه قد تبين من إعادة تحليل أساس هذا التكنيك، باستخدام بيانات من تليسكوب الفضاء هابل، أن التكنيك قد عوير معايرة خطأ، وأدت إعادة التحليل إلى أن يعود التكنيك ليقف فى الخط نفسه تقريبا مع ما وصف من نتائج قبله. والآفة الثانية، كما سوف نرى، هى فى المقام الأول السبب فى كتابتى لهذا الكتاب.

برنت توللى وريتشارد فيشر لم يبتكرا بالضبط التكنيك الذى يحمل الآن اسميهما، ولكنهما كانا الشخصين اللذين تبنيا الفكرة من ١٩٧٧ وما بعدها، وجعلاها فى كميات وعززاها كأداة تقاس بها قيمة ثابت هابل. وأساس التكنيك هو أرصاد إمبريقية تدل على أن المجرات اللولبية الأكبر والأنصع يبدو أنها تدور بأسرع من المجرات اللولبية الأصغر والأعتم. وهذا معقول، لأن المجرة الأكبر والأنصع أكثر كتلة، وبالتالى فإن لها شد جذبوى أقوى، بحيث أنها تستطيع أن تدور بسرعة أكبر بدون أن تتطاير متناثرة. على أنها إذا كانت «تستطيع» لا غير أن تدور بسرعة أكبر، فإن هذا لا يعنى أنها «يجب» أن تدور بسرعة أكبر. ولن تنجح علاقة تى - إف فى أن تعمل حقا كمؤشر يعتمد عليه للنصوع (وبالتالى كمؤشر للمسافة) إلا إذا كان هناك بعض قانون فى الفيزياء يقول أن المجرة يجب دائما أن تدور بالسرعة التى تستطيع أن تدور بها دون أن تتحطم. وعندها، فإن قياس سرعة دورانها سيخبرنا بالضبط عن قدر ما يجب أن تكون عليه كتلة المجرة ونصوعها. وكما هو الحال أبدا فإن معرفة النصوع الأصيل لجرم تعطينا مسافة بعده، بأن نقيس نصوعه الظاهرى. ولكن لا وجود لهذا القانون فى الطبيعة (أو على الأقل فإننا للآن لم نعثر عليه) ومن غير هذا القانون ستكون علاقة تى - إف بدون أى أساس متين فى الفيزياء - فهى كما يعلق عليها بعض علماء الفلك فى استهزاء، مجرد «شعوذة».

وعلى كل فإنه يبدو أن هذه الشعوذة تنجح بالفعل، بطريقة ما. ومن الأسهل نسبيا أن تقاس سرعة دوران المجرات اللولبية، بدراسة ما ينبعث منها فى نطاق موجات الراديو، عند طول موجة من ٢١ سنتيمتر. وينبعث هذا الاشعاع من غاز الهيدروجين الموجود فى كل مكان بين نجوم المجرة اللولبية. وينتج عن الهيدروجين فى المعامل التى فوق الأرض خطا حادا جداً فى الطيف عند ٢١ سنتيميتر. على أنه لما كانت المجرة اللولبية تدور، فإنها عندما ترى عند حرفها، يكون أحد جانبيها متحركا تجاهنا والآخر يتحرك بعيدا عنا. وبالتالى فإن الإشعاع الآتى من بعض الهيدروجين تكون له إزاحة زرقاء هينة، فيزاح إلى أطوال موجات أقصر هونا، ويزاح البعض إزاحة حمراء، إلى أطوال موجات أطول هونا، ويكون التأثير العام هو أن خط الواحد والعشرين سنتيمترا يصبح مضببا، وعندما يقاس عرضه ككل بما لدينا من تليسكوبات الراديو فإن هذا ينبئنا بمدى سرعة دوران المجرة.

والصعوبة هنا أنه حتى إذا كانت علاقة تى - إف بين سرعة الدوران والنصوع هى أكثر من أن تكون مجرد تقريب فظ (الأمر الذى يشك فيه)، فإنه قبل وفود تليسكوب (هتف) كان من الصعب معايرة العلاقة. لم يكن هناك إلا ست لولبيات قريبة قد حددت مسافات بعدها بدقة بالطريقة القيفاوسية، باستخدام تليسكوبات قاعدتها فوق الأرض، ولم يكن هناك إلا مجرتان فقط من هؤلاء (إم ٣١ وإم ٣٣) يبلغ حجمهما من الكبر وتبلغ سرعة دورانها من الكبر ما يماثل المجرات الأبعد مسافة التى تستخدم فى تطبيق

تكنيك تى ـ إف. وهناك أيضا مشكلة فيما يتعلق بمعرفة مدى ما ندخله فى الحساب بالنسبة لتأثير الغبار فى المجرات البعيدة، بما يعتم من ضوئها هى نفسها ـ ذلك إن التكنيك ينجح أحسن النجاح بالنسبة للمجرات التى ترى على حرفها، حيث يسهل قياس السرعات، ولكن حيث أن الغبار يكون مركزا فى مستوى المجرة من هذا النوع، فإن هذا فيه مشكلة كبيرة. كما أن هناك دائما مشكلة تحيز مالمكويست. وفى الناحية الموجبة يمكن للتكنيك (بمجرد أن يعاير بأفضل ما يمكن باستخدام اللولبيات المحلية) أن يكون له تطبيق على مجرات بعيدة كثيرة جدا ـ وقد استخدم تولى تولى وفيشر نفسيهما عينة يزيد عددها عن ألف لولبية.

أعطت النتائج المبكرة للتكنيك قيما عالية لـ (H) يصل علوها إلى ٩٠، وأسبغ ذلك ارتياحا هائلا على أنصار مقياس المسافات «القصير» الذى يحبذه دى فوكولير. وحتى نضع الأمر فى منظور تاريخى، فإنه عندما أجرى مايكل روان ـ روبنسون فى ١٩٨٥ استعراضه الكبير لكل تكنيكات تحديد ثابت هابل، وجد أن أفضل قيمة لـ (H) هى ٦٧ ±١٥. واعتمد هذا على تقييمه الشخصى للتكنيكات، وهو تقييم فيه شئ من الذاتية (وإن كان تقييما متنورا)، حيث قيم أى التكنيكات هو الذى يعتمد عليه بأكثر، كما أضفى أهمية أقل على التكنيكات التى يشك فيها بأكثر عند استنباط هذا الرقم. وفى ذلك الوقت لم يكن متاحا سوى بيانات سوبر نوفا محدودة فى أيام ما قبل تليسكوب (هتف) وهى بيانات تنحو لأن

تعطى حتى قيما أقل لـ (H)، أما تكنيك تى - إف فقد أعطى أعلى القيم فى منتصف الثمانينيات من القرن العشرين. وما كان يمكن أن يكون الاثنان معا على صواب. ويؤدى حذف بيانات السوبرنوفا إلى زيادة تقدير روان - روبنسون لـ (H) إلى ٧٨، بينما يؤدى حذف نتائج توللى - فيشر إلى خفض قيمة (H) إلى ٥٦ (وفى كلتا الحالتين يكون الخطأ تقريبا ± ١٥). وقال روان - روبنسون «إن هذا فيه ما يشير إلى المدى الذى يمكن أن يتزحزح فيه تقييمى لـ (H) فى المستقبل المباشر». وكما رأينا، فإنه حدث عبر الفترة من الأعوام العشرة أو ما يقرب التى تلت مسح روان - روبنسون، أن تزحزحت كل النتائج تقريبا التى ظهرت من التكنيكات الأخرى تجاه نتائج السوبر نوفا، كما اتجهت إلى الاتجاه نفسه بيانات ظاهرة إس - زد (التى لم تصبح متاحة إلا بعد مرور عقد على هذا المسح). وظل تكنيك تى - إف وحده هو الذى ينطوى على مخاطر.

على أن الأمور أخذت تتغير بحلول ١٩٩٦. فتحسنت تكنولوجيا الأرصاد الأرضية تحسنا له مغزاه (وذلك أساسا بفضل استخدام الكشافات الإلكترونية (جشم، CC Ds) التى حلت مكان الألواح الفوتوغرافية)، وزادت معا من تفاصيل أرصاد المجرات المختلفة ومن عدد المجرات التى قيست مسافة بعدها قيفاوسيا. واستخدم ريكاردو جيوفانللى من جامعة كورنيل عينة من اثنتى عشرة لولبية لها مسافات بعد قيفاوسية معروفة، واستعملها فى معايرة

مازالت تعتمد اعتمادا لا يريح على اللولبيات مثل إم ٣٣ وإم ٣٣، التى كانت كما أقر جيوفانللى أقل من أن تعتبر أدوات معايرة مثالية لأنها تظهر علامات تشوه واضحة فى أقراصها، سببها فيما يحتمل تأثيرات مد جزرية، ومع هذا كله إلا أن جيوفانللى توصل لقيمة لـ (H) تنحفض إلى ٧٠ ± ٥.

على أن الإنجاز الخارق حدث فى ١٩٩٦، بعد أن بدأت أعمل فى هذا الكتاب (وكان فى هذا الإنجاز ما أراحنى كثيرا!). أحد المشاريع الرئيسية لتيلسكوب الفضاء هابل، وأحد الأسباب الأساسية لوجوده، كانت منذ البداية أن يعاير التليكسوب مقياس مسافة الكون بقياس المسافات القيفاوسية لأكبر عدد ممكن من المجرات، ثم تستخدم هذه المسافات كلما أمكن، لربط التكنيكات المختلفة التى وصفتها فى هذا الكتاب بإطار مشترك. وفى ١٩٩٧، استطاع توم شانكز بجامعة ديرهام أن يهمل كل البيانات القيفاوسية الآتية من التليسكوبات الأرضية، واستخدم المسافات إلى إحدى عشرة لولبية كما تحددت من المتغيرات القيفاوسية بواسطة تليسكوب (هتف) واستخدم اثنتى عشرة لولبية تحددت مسافاتها من سوبر نوفات من نوع ١ (أ)، استخدم هذا كله لصنع معايرة جديدة بالكامل لعلاقة توللى - فيشر ووجد أنه بالمقارنة مع مقياس المسافات الذى تحدد من الأرصاد الستة الأصلية الأرضية التى أجريت للقيفاوسيات فى عينة المعايرة الأولى للولبيات، وجد أن كل المسافات التى تحددت بتكنيك تى - إف يجب أن تصحح لقيمة أعلى بما يقرب من ٢٥ فى المائة، وإن تقدير ثابت هابل يجب أن يخفض حسب ذلك من ٨٤ ± ١٠ إلى ٦٨ ± ٨. وأدى هذا، من بين أمور أخرى، إلى أن

يدفع المسافة إلى قلب عنقودية فيرجو التى قدرت بتكنيك تى ـ إف لتزيد من ١٥,٦ ± ١,٥ ميجا فرسخ إلى ١٩,٣ ± ١,٩ ميجا فرسخ، بما يجعلها متسقة فى صف واحد مع القياسات التى وصفت من قبل فى هذا الكتاب.

أجرى جيوفانللى وزملاؤه إعادة تقييم لطريقة تى ـ إف على نحو هو حتى أكثر شمولا عن هذا وأكثر قوة إحصائيا، وتضمن ذلك دراسات لأربع وعشرين عنقودية مجرات مختلفة، ولكنهم أيضا استخدموا أحدث بيانات تليسكوب (هتف)، ووصل جيوفانللى وزملاؤه هكذا إلى الإستنتاج نفسه تقريبا فى وقت تلى ذلك فى ١٩٩٧، وسجلوا أن أفضل قيمة لثابت هابل كما تستقى من هذا التكنيك هى ٦٩ ± ٥. وتلى ذلك فى وقت مبكر من ١٩٩٨ أن أنتج فريق من الباحثين فى جامعة طوكيو مسحا شاملا آخر، تأسس على دراسة ٤٤١ مجرة لولبية، باستخدام المعايرات القيفاوسية لتليسكوب (هتف) مع إجراء إحصائيات جيدة وإدخال حساب تحيز مالمكويست. وخرجوا بقيمة لـ (H) تماثل تقريبا قيمة شانكز وجيوفانللى، ولكنها لها حدود خطأ أكثر واقعية نوعا ـ وكانت أفضل قيمة هى ٦٥، مع احتمال خطأ من + ٢٠ و ـ ١٤. وبكلماتهم هم أنفسهم فإن هناك «اتفاق جيد» بين قيم (H) التى نجدها الآن من تكنيك توللى ـ فيشر وتلك التى نحصل عليها حديثا بالتكنيكات التقليدية المؤسسة على القيفاوسيات، ومن دراسات السوبر نوفا، ومن ظاهرة إس ـ زد (وإن كانوا لم يذكروا هذه على نحو خاص)،

ظلت لدى شكوكى حول إمكان الاعتماد على تكنيك ينتج قيمة تتزحزح بخمسة وعشرين فى المائة عندما تتغير المعايرة التى تأسس عليها من مجموعة من ست لولبيات إلى مجموعة أخرى من إحدى عشرة لولبية، ونحن ولا ريب لم نصل بعد لآخر التغيرات فى مقياس المسافات الذى يتحدد من تكنيك توللى - فيشر. وهو ما زال أضعف تكنيك من أى مما وصف فى هذا الفصل. ولكنه على الأقل لم يعد بعد يختلف مع التقديرات الأخرى؛ فكل حدود الخطأ تتداخل. وهذا يتركنا لما يبدو الآن كتفصيل صغير نبع من مشروع البحث الأساسى لهابل، ولكنه سبب فى ١٩٩٤ إزعاجا بين الكثيرين من علماء الفلك، وأدى بى فى النهاية إلى أن أسهم بنفسى فى الأبحاث على ثابت هابل.

عندما بدأ الزمان

كيف قسنا عمر الكون

لو كان اتفاق الرأى الذى وصفته فى الفصل السابق قد انبثق واضحا فى ١٩٩٤ أو ١٩٩٥ بمثل ما كان عليه فى بداية ١٩٩٨، لربما لم أشارك قط فى قياس قيمة ثابت هابل ولكان هذا الكتاب قد انتهى بالفصل السابع (لو أنه كتب بالمرة). ولكن الموقف فى منتصف التسعينيات كان ما زال مشوشا أكثر مما صار إليه بعدها بسنوات معدودة لا غير.

ومع أن إسهامى فى مسألة «الخلاف حول عمر الكون» لم يكن مطلقا أمرا حاسما، ويمثل فحسب لبنة صغيرة واحدة فى صرح العلم، إلا أنى سأتناول بشئ من الفصل البحث الذى أسهمت فيه أثناء منتصف تسعينيات القرن العشرين، وذلك لسببين. الأول أن هذه فرصة لأن يوصف من الداخل عملا من أعمال البحث العلمى كما تم تنفيذه، بما فيه من بدايات خاطئة ومسالك مسدودة، وغير

ذلك كله. وكثيرا جدا ما يكون ما يسرد للجماهير عن الجهد العلمي هو نسخة مشوهة للحقيقة، حيث يبدو مسار العلم وكأنه لا غير ـ تقدم للأمام لا إنثناء فيه. ولكن هذا نادرا حتى ما يكون قريبا من النسخة الحقيقية لما يجرى على أسئلة البحث الحادة. والثانى، أنه بفضل الاهتمام الجماهيرى الهائل بتليسكوب الفضاء هابل، حدث فى منتصف التسعينيات أن أُبرز فى العناوين الرئيسية تقدير لقيمة ثابت هابل ثبت فى النهاية أنه تقدير مضلل، وكنتيجة لذلك ما زال هناك كثير من الناس تنتابهم البلبلة حول أحسن فهم حديث لعمر الكون، وخاصة علاقته بأحسن التقديرات الحديثة لأعمار أكبر النجوم سنا.

كان العديد من التكنيكات الجديدة فى ذلك الوقت يدل على قيمة لـ (H) هى عند الطرف الأدنى من المدى الذى ظل يناقش طيلة السنوات العشرين الماضية، ولكن هذه القيمة كانت لا تزال (فى معظم الأحوال) ليست قليلة بالقدر الكافى لحل التضارب بين ما أستدل عليه كعمر للكون وبين ما كان وقتها أفضل التقديرات لأعمار أكبر النجوم سنا. وانتظر الكثيرون من علماء الفلك النتائج الأولى بعد تجديد تليسكوب الفضاء هابل، وهم يأملون أن المسافات القيفاوسية التى سيقيسها تليسكوب (هتف) ستعطى قيمة لـ (H) تبلغ الستينيات، بما يتفق ونتائج التكنيكات الجديدة، إن لم يكن فيه ما يحل تماما مشكلة العمر. وكان هناك قلة (بما فيهم شخصى) يأملون حتى الوصول إلى قيمة أقل من ذلك.

كنا نعرف جميعا أن تليسكوب (هتف) سيتمكن من معالجة المشكلة، ذلك أنه حتى قبل إصلاح بصريات التليسكوب (في ديسمبر ١٩٩٣)، كان مازال يعمل جيدا بما يكفي لأن يتمكن من أن يحدد بوضوح القيفاوسيات التي في مجرة إم ٨١ القريبة (على مسافة ما يزيد بالكاد عن ٣,٦ ميجا فرسخ). وقبل أن يوجه (هتف) إلى إم ٨١، لم يكن قد تعين في تلك المجرة سوى نجمين قيفاوسيين فقط باستخدام التليسكوبات المثبتة في الأرض. ولكن هتف قبل إصلاحه تمكن حتى وهو بعيوبه أن يعين ثلاثين نجما قيفاوسيا «جديدا» في إم ٨١، بما يثبت أن كل شئ آخر في التليسكوب كان يعمل جيدا، الأمر الذي أثار شهية علماء الفلك للوليمة التي يسعون لها حقا. وما لبث أفراد فريق (المشروع الرئيسي لهابل) أن القوا قنبلتهم.

علينا أن ندرك أن الدراسات القيفاوسية بواسطة تليسكوب (هتف) المجدد لم تأت لنا في دفعة واحدة - فلا يمكن أداء مثل هذا البحث بين عشية وضحاها. وحتى مع ما لهذا التليسكوب من مزايا تجعله متفوقا على نظائره المثبتة على الأرض، إلا أنه ما زال من اللازم توجيهه لزمن طويل للمجرة المعينة المرصودة. كما يلزم القيام بكل رصد مرتين، عند طولي موجتين مختلفين، وذلك حتى ندخل في الحساب تأثيرات الغبار الكوني، ويستغرق كل رصد واحد مدارين من مدارات التليسكوب حول الأرض (حوالي ثمانين دقيقة) حتى يتبين القيفاوسيات المفردة في تلك المجرة. وسيكون

علينا بعد هذا كله أن نجرى أرصادا كهذه من وقت لآخر على فترات من أسابيع أو شهور وذلك حتى نقيس الدورات الزمنية لهذه القيفاوسيات. على أنه حتى تليسكوب (هتف) لم يكن ليستطيع أن يتبين أجراما شاحبا مثل القيفاوسيات التى فى مجرات أبعد كثيرا من عنقودية فيرجو. وبحلول نهاية مرحلة الرصد فى (المشروع الرئيسى) فى يناير ١٩٩٨، كان الفريق قد رصد القيفاوسيات فى ثلاث مجرات فى عنقودية فيرجو، وفى ثلاث مجرات فى عنقودية أخرى (هى فورناكس «الكور»)، وثمانى عشرة مجرة مما تسمى مجرات المجال التى لا تكون فى عنقوديات. كان الهدف الواضح من (المشروع الرئيسى) هو استخدام بيانات من حوالى عشرين مجرة لتحديد ثابت هابل بمدى خطأ من +١٠ فى المائة، ولكن التحليل النهائى لهذه البيانات كان ما زال جاريا أثناء كتابة هذا الكتاب.

وبهذا، فإن فريق «مشروع هابل الرئيسى» (هم والأفراد الآخرون الذين يستخدمون التليسكوب) كانوا مازالوا يعتمدون على تكنيك قياس المسافات إلى مجرات قريبة نسبيا، ويستخدمونها لمعايرة مؤشرات ثانوية (مثل السوبر نوفات، أو خصائص المجرات التى تستخدم فى تكنيك توللى ـ فيشر) ويعتبرونها كدرجات سلم يتحركون عليها لأبعد داخل الكون ككل. وكما أقر دائما أفراد الفريق أنفسهم، فإن ما نتج عن ذلك من اعتماد على عنقودية فيرجو فيه ما يدخل خطأ محتملا منذ بداية الحساب مباشرة قدره

± ٢٠ فى المائة، وذلك لكل الأسباب التى ذكرتها فيما سبق. ولكن حتى مع إدخال ذلك كله فى الحساب، كان رد فعل معظم علماء الفلك هو الدهشة المذهلة عندما أعلن فريق (مشروع هابل الرئيسى) فى أكتوبر ١٩٩٤ إن أول أرصادهم لاثنى عشر نجما قيفاوسيا فى مجرة فى عنقودية فيرجو (إم ١٠٠) يؤدى إلى قيمة لـ (H) هى ٨٠ ± ١٧.

كان هذا الرقم عنوانا لأول تحديد لثابت هابل باستخدام تليسكوب (هتف) وكل ما أدى له هو - أنه أصبح مصدرا للعناوين فى الإعلام، وأعاد إحياء ملحمة الخلاف بين أعمار أكبر النجوم سنا وما يستدل عليه كعمر للكون. إلا أن المؤلفين الذين كتبوا مقالاتهم تحت هذه العناوين فشلوا فى أن ينتبهوا إلى التحذيرات التى تكمن عميقا فى ذلك التقدير. فقد أقر اعضاء المشروع الرئيسى بأن المسافة إلى إم ١٠٠ (وهى على كل قد اختيرت لأنها أسهل نسبيا فى دراستها) قد لا تكون نفس المسافة إلى قلب عنقودية فيرجو، وأن هذا قد ينتج عنه خطأ كبير فى حساباتهم. كما أنهم قد أختاروا أيضا قيمة معينة للسرعة التى تهوى بها فيرجو للداخل، بما يوافق سرعة ارتداد كونية من ١٤٠٠ كيلو متر فى الثانية، ولكنهم أوضحوا أن أختيار سرعة ارتداد من ١١٨٠ كم / ثانية (وهى سرعة يفضلها علماء الفلك الآخرون) سوف يقلل من تقديرهم لـ (H) إلى ٦٩ ± ١٤، وذلك منسوبا إلى مسافة بعد لفيرجو تبلغ ١٧ ميجا فرسخ (نتجت من دراساتهم لإم ١٠٠).

ويحاج الكثيرون من علماء الفلك بأن المسافة الحقيقية إلى قلب فيرجو تزيد عن ٢٠ ميجا فرسخ (وبالتالى فإن إم ..، تكون أقرب جداً إلى جانب العنقودية المواجه لنا) وسنتج عن ذلك مزيد من الإقلال من تقدير قيمة (H) الذى يتأسس على درجات السلم الثانوية.

دعنا نتذكر أن الطريقة التقريبية لقياس (H) من بيانات عنقودية فيرجو، لا تكون فحسب بأن نستخدم الإزاحة الحمراء من أى مجرة مفردة مثل إم ..،، حيث تتأثر هذه الإزاحة بالحركة العشوائية للمجرة نفسها، وإنما أيضا بأن نستخدم المسافة إلى القلب ومتوسط الإزاحة الحمراء لمجرات كثيرة جدا فى العنقودية، ونجعل موضعها كلها فى الواقع على مسافة بعد القلب واثقين من أن سرعاتها العشوائية ستصبح فى المتوسط ملغية للصفر. وبالتالى، فعندما يتغير تقدير المسافة للقلب بعشرين فى المائة سيغير هذا من تقديرنا لـ (H) بعشرين فى المائة.

سنجد فى الحقيقة أن السبب الرئيسى فى أن هذه النتيجة القيفاوسية الأولى لفيرجو التى خرج بها فريق (مشروع هابل الرئيسى) بقيمة عالية هكذا لـ (H)، هو أن تحليل الأمور كان مشوبا بالضبط بنفس التفاؤل الفلكى الذى ظل يشوب أبحاث دى فوكولير زمنا جد طويل، كما كان مشوبا بما تم اختياره من معلمات للخصائص الرئيسية لعنقودية فيرجو. والواقع أن هذه النتيجة الأولى نفسها من (المشروع الرئيسى) تتسق تماما مع أن

يكون لـ (H) قيمة ٥٥ ـ ولكن الرسالة التى أتتنا كانت على غير ذلك، على أنه تم فى أغسطس ١٩٩٥ نشر ورقة بحث فيها تقنية أكثر، وحتى إن كان الفريق قد أذهله ما توصل له من تقدير (H) بأنها = ٨٠± ١٧، إلا أن أفراده صاغوا النتيجة أيضا بلغة إحصائية صارمة، مستخدمين الطرائق المعيارية لقياس الاحتمالات، قائلين إن من المؤكد بنسبة ٩٥ فى المائة أن قيمة ثابت هابل تقع فى مدى بين ٥٠ إلى ١٠٠. وعندما يقلب ذلك، فإنه يعنى أنه ليس هناك سوى احتمال من واحد من عشرين بأن تكون (H) بالفعل إما أصغر من ٥٠ أو أكبر من ١٠٠، وتسعة عشر احتمال من عشرين بأنها تقع فى مدى ٥٠ ـ ١٠٠ ـ وهذه قصة تختلف نوعا عن تلك التى صورت فى العناوين التى قدح زنادها ورقة بحث ١٩٩٤.

منذ ١٩٩٤ أخذت بيانات القيفاوسيات من المزيد من المجرات تتجمع وئيدا عن طريق تليسكوب (هتف)، وصاحب ذلك أن أخذت تقديرات (H) التى ينشرها فريق (البحث الرئيسى) تنخفض وئيدا ولكن بدون أن تؤدى إلى أى عناوين إعلامية. ويستغرق مثل هذا البحث زمنا يبلغ من طوله أن كل مجرة «جديدة» تتم دراستها، تكون مبررا لظهور ورقة بحث جديدة، على أنه ظهر فى صيف ١٩٩٧ ملخصا للوضع الجارى ذكر فيه فريق «المشروع الرئيسى» أن أفضل قيمة لـ (H) هى ٧٣ مع تقدير كلى لحدود خطأ من ± ١٤ ولكن هذا فيه ما يسبق قصتى.

كل ما حدث حقا، هو أنه قد تم فى منتصف تسعينيات القرن العشرين أن امتد إلى الفضاء الخلاف القديم بين أنصار مقياس المسافات «الطويل» ومقياسها «القصير» - وهى نقطة وضحها بقوة ما حدث مبكرا فى ١٩٩٦، عندما استخدم سانديج وتمان وخمسة من زملائهما بيانات تليسكوب هتف القيفاوسية لمسافات بعد تسع مجرات وعايروا بها علاقة توللى - فيشر وكذلك أيضا مقياس المسافة السوبر نوفى. وحرجوا من ذلك بمسافة بعد لقلب فيرجو تبلغ ٢٢ ميجا فرسخ، واستخدموا سرعة ارتداد للعنقودية هى ١١٧٨ كم / ثانية، بالإضافة إلى بيانات السوبرنوفا، ليخرجوا بقيمة لـ (H) هى ٥٥ ± ١٠. وقالوا أن «الأخطاء النسقية تنحو إلى أن تجعل هذا حدا أعلى، وعلى وجه الخصوص فإن من الممكن استبعاد حالة أن تكون (H) أكبر من ٧٠».

استخدم فريقان مختلفان بيانات كانت (فى معظم الحالات) من المجرات نفسها، وتم الحصول عليها بواسطة التليسكوب نفسه، وخرجا منها بتقديرين لـ (H) لا يكاد أحدهما يتفق مع الآخر حتى مع أقصى مدى لما نشر لهما من حدود خطأ - ذلك أن ٥٥ + ١٠ ستكون ٦٥، بينما ٨٠ - ١٧ ستكون ٦٣. ربما يكون الحل الساذج لهذا اللغز هو أن نشطر الفارق ونجعل القيمة ٦٤ (بما لا يرضى أى من المعسكرين). إلا أنه كان يبدو أن إسم المشروع نفسه «مشروع هابل الرئيسى» كان يضفى على نتائج ذلك الفريق هالة من طقوس خفية جعلتها نتائج أكثر جدارة بالثقة.

منذ أن نُشرت لأول مرة نتائج (المشروع الرئيسى) عن إم ..، في أواخر ١٩٩٤، وأنا أُضجر زملائى فى جامعة سسكس بأن أوضح لهم عند مناقشة البحث، أن فريق المشروع لا يمكن أن يكون مصيبا، لأن هذا يتضمن أن مجرتنا درب التبانة هى مجرة لولبية ضخمة وغير عادية. ولم يلق أحد اهتماما كبيرا لذلك فيما عدا القول «ليس فى وسعك أن تعمم بناء على عينة واحدة»، بما يعنى أنه مع كل ما نعرف فإن مجرتنا «بالفعل» غير عادية ـ وكيف لنا أن نعرف من غير أن يكون لدينا معلومات أكثر عن أحجام المجرات عموما؟ إلا أنه عندما سجل أفراد فريق سانديج تحليلهم فى مارس ١٩٩٦ بينت فى جذل أمر هذه الذخيرة الجديدة التى تدعم قضيتى، فكان رد الفعل الذى تلقيته من ذلك هو فحسب أن يقال، «حسن، سانديج إذن يقول هذا، أليس كذلك؟»، على أنه كان هناك وقتها أكثر من حفنة من المسافات القيفاوسية إلى المجرات اللولبية قد قاسها هتف، الأمر الذى ألقت عليه ورقة بحث فريق سانديج ضوءا كاشفا. وقد ثبت أن عددها فيه الكفاية لأن يطرح طريقة جديدة تماما لقياس(H).

لم يحدث أن تجلت لى فكرة ذلك إلا بعد شهرين من ظهور تفسير سانديج وتمان لبيانات (هتف). كان هناك ندوة فى جامعة سسكس وصف فيها المتحدث بعض أدلة مستمدة من أرصاد

القيفاوسيات فى عنقودية فيرجو، تؤيد مقياس المسافة القصير والقيمة المرتفعة لثابت هابل. وبقيت هذه المرة صامتا أثناء الحديث. ولكنى بعدها، وأنا أسير فى الممشى مع مجموعة من الطلاب، إنتهزت الفرصة لأقوم كالمعتاد بإثبات صحة قضيتى عن مقياس المسافة الطويل بين أفراد جمهور جديد نسبيا، مبينا أن كل ما قيل لنا فى التو يدل على أن درب التبانة مجرة كبيرة كبرا غير معتاد. وقال واحد منهم، «حسن، يمكننا أن نكشف أمر ذلك؟».

«ماذا تعنى؟»

«مع كل ما يوجد من بيانات (هتف)، وبيانات الأجهزة المثبتة فى الأرض، لابد وأن هناك الآن كمية وافرة من المسافات القيفاوسية إلى اللولبيات. ويمكننا بهذا أن نكشف عن كل أحجامها، وأن نقارنها بمجرتنا».

كان هذا مثلا كلاسيكيا للعجز عن رؤية الغابة واضحة ككل بسبب كثرة التفاصيل من الشجر. كنت أركز كل التركيز على العلاقة بين حجم المجرات وقيمة ثابت هابل بحيث فاتنى رؤية حقيقة أنه قد يكون فى الإمكان أن نقيس لا غير حجم اللولبيات القريبة منا. وكل ما علينا هو أن نأخذ المسافات القيفاوسية لكل اللولبيات المجاورة لنا، وأن نقارنها بالأقطار الزاوية الظاهرية لهذه اللولبيات نفسها لنستنتج أقطارها الخطية الحقيقية بالميجا فرسخ، وذلك باستخدام التثليث. ويمكننا بعدها أن نستنتج على وجه حاسم إن كانت درب التبانة مجرة من حجم عادى أم لا. وإذا ثبت «بالفعل» فى النهاية أنها مجرة متوسطة (أو حتى إن لم يثبت ذلك)، فإن هذا سيخبرنا مباشرة بشئ عن قيمة (H)!

كانت الفكرة جيدة بحيث بدا غريبا أن أحدا لم يفكر فيها من قبل - إلا أنه حتى مع تجميع البيانات القيفاوسية المتاحة من التليسكوبات المثبتة فى الأرض مع بيانات (هتف) الجديدة، كان هناك (فى صيف ١٩٩٦) عدد من المسافات المعروفة إلى المجرات يكفى فقط لأن يجعل تقييما كهذا له شأنه بالمتابعة لشهور معدودة. وافق سيمون جودوين، الطالب الذى أبدى هذه الفكرة النيرة، على أن الأمر يستحق المتابعة، بشرط ألا يكون أى أحد آخر قد قام به من قبل. وتبين من البحث بالكمبيوتر فى قواعد بيانات علم الفلك أنه لا يوجد أى أثر لورقة بحث علمية لها حق الأولوية فى بحث من هذا النوع، ولكن سيمون كان فى غمرة كتابته لأطروحته لنيل الدكتوراه، وكان على نحو مفهوم عازفا عن أن يترك كل شئ لينغمس توافى مشروع جديد. أما أنا فبدون ما كان له من معرفة بقواعد البيانات وآخر تكنيكات الكمبيوتر، سأستغرق وقتا لإحراز أى تقدم بنفسى، وسيكون هو أثناء ذلك قد أنهى بأى حال أطروحته، وبالتالى، كان الشئ الوحيد الذى يجب أن أفعله هو أن أكون صبورا. أما فيما يخص سيمون، فلم يكن هناك أى سبب حقيقى للعجلة، كان من الواضح أنه سعيد بأن يساير أحد أعضاء الجيل الأكبر سنا، ولكنه لم ير أى داع ملح لاستعجال المشروع استعجالا كبيرا.

تحركت الأمور قليلا فى الصيف، إلا أن حماس سيمون للفكرة ارتفع عاليا عندما وفد علينا العضو الثالث فى فريقنا. وعلى الرغم من أن مارتن هندرى لم يكن يكبر سيمون كثيرا فى العمر، إلا أنه كان قد نّمى لنفسه من قبل سمعة هائلة فى علم الفلك، وكان له حسن إطلاع بالذات على وضع الأمور بالنسبة لما أُجرى من محاولات مختلفة لقياس ثابت هابل. وكان أيضا اسكتلنديا حذرا، وخبيرا بالتكنيكات الاحصائية التى يحتاج الفلكيون لاستخدامها لتقييم معنى بياناتهم(بل إنه فى الحقيقة قد إبتكر بعض هذه التكنيكات). أقترح سيمون أن نسأل مارتن عما إذا كان المشروع يستحق حقا أن يتابع، وعما إذا كان يود أن يشاركنا. وافق مارتن فى حماس على أن المشروع سوف ينجح، وأن وجود طريقة جديدة مستقلة لقياس(H) هوما يحتاجه الأمر حقا لحسم البلبلة التى ما زالت موجودة حول مقياس المسافات الكونية وعمر الكون. وكان من هذه الموافقة لواحد من اللامعين المبرزين فى جيله هونفسه أن أشعلت حماس سيمون، وشجعته إلى الإتجاه مباشرة إلى بيانات اللولبيات بمجرد إنتهائه من كتابة أطروحته.

ثبت فى النهاية أنه يوجد بالظبط عدد كاف من اللولبيات التى نعرف عنها بالضبط قدرا من المعلومات يكفى لأن نحدد نهائيا الحجم النسبى لدرب التبانة. وبأخذ كل بيانات القيفاوسيات المتاحة من التليسكوبات المثبتة فى الأرض ومن تليسكوب (هتف)، وبالنظر فحسب فى أمر المجرات اللولبية التى لها مشابهة فيزيقية

وثيقة بدرب التبانة(من حيث مدى إحكام لف الأذرع اللولبية وما إلى ذلك)، أصبح لدينا سبع عشرة مجرة لاغير نجرى البحث عليها، وكلها قد حددت مسافة بعدها تحديدا دقيقا. وكما هو الحال أبدا فى علم الفلك، لا تكون الأمور عند التطبيبق بسيطة بمثل ما تبدو عليه عند تخطيط أحد المشروعات، وكانت المشكلة الرئيسية فى هذه الحالة هى إتخاذ قرار لاغير عن الطريقة التى يقاس بها حرف صورة المجرة اللولبية فوق لوح فوتوغرافى أو صورة لجهاز «جشم»، وطريقة مقارنة ذلك بقياس مماثل لحرف درب التبانة. ولحسن الحظ فإن هناك طريقة مقننة لقياس الأقطار الزاويةللمجرات، بلغة من الطريقة التى ينخفض بها نصوعها عندما نتحرك للخارج من مركزها. والواقع أننا نرسم خطا كنتوريا حول صورة المجرة عند الموضع الذى ينخفض فيه النصوع إلى مستوى معين، ونسمى هذا بأنه حرف المجرة. وهذا يعين مسافة تعرف بأنها قطر التساوى الضوئى، وكل ما سيكون علينا فعله هو أن نتطلع إلى ما فى الكتالوجات من أقطار التساوى الضوئى لمجراتنا المختارة.

على أنه ثبت بعد كل ما كان من إثارة أن أصعب ما فى الأمر هو تحديد حجم درب التبانة نفسها بأسلوب يماثل ذلك. فحيث أننا نقبع داخل مجرة درب التبانة، فإن علينا أن نستخدم تكنيكات مختلفة لقياس حجمها، ومازال علماء الفلك يتناقشون حول ما يكونه قطر درب التبانة بالضبط(أو حتى ما نعنيه بتعبير « قطر

درب التبانة بالضبط ») . على إن كل ما كان يشغلنا هوما يكافئ قطر التساوى الضوئى لدرب التبانة، الذى يمكن حسابه مما يرصد من توزيع للنجوم خلال درب التبانة، بحيث يمكننا إستنتاج كيف تبدو المجرة من الخارج. ويعطينا هذا حسابا لقطر التساوى الضوئى لدرب التبانة يبلغ٢٦,٨ ± ١,١ كيلو فرسخ.

كيف نعرف إن كانت معادلتنا عن قطر التساوى الضوئى لدرب التبانةمعادلة صحيحة؟ هناك لحسن الحظ مجرتان لولبيتان قريبتان منا بمايكفى لقياس توزيع النجوم فيهما لنستخدم نفس المعادلة لاستنتاج قيمة نظرية لقطر التساوى الضوئى بحيث يمكن لنا مقارنتها بالقيمة الرصدية لقطر التساوى الضوئى لنعرف مدى جودة المعادلة. وكانت المعادلة بالنسبة لصديقتنا القديمة إم٣١ فيها أختلاف بنسبة ٥فى المائة، أما بالنسبة لإم ..١فكان الأختلاف بنسبة٣ ,٠ فى المائة، لاغير. والأمر هكذا على ما يرام ، إذا قارناه بأوجه عدم اليقين التقليدية فى قيمة (H) (وكذلك معظم القياسات الفلكية الأخرى).

عندما فعلناهذا، أصبح من الأمور المباشرة أن نستخدم مسافات البعد و أقطار التساوى الضوئى لسبع عشرة مجرة لولبية فى عينتنا حتى نستنبط القطر الخطى الفعلى لكل واحدة منها، وذلك عن طريق الهندسة البسيطة، ثم نحسب المتوسط. وخرج لنا متوسط من٢٨,٣ كيلوفرسخ، وهذا أكبر على نحو هامشى(وإن لم

يكن معنويا) من حجم درب التبانة. هكذا وجدنا بما أبهجنى، أن درب التبانة هى حقا لولبية متوسطة. وعندما أختصرنا عينتنا ختصارا هينا، لتتضمن فحسب الإثنتى عشرة مجرة التى تشبه أقرب الشبه درب التبانة فى مظهرها، زاد المتوسط إلى٣٣,٦كيلوفرسخ. ومع هذا العدد الصغير من العينات، ينبغى ألا نستنتج من الأمر أكثر مما ينبغى، حيث أنه عندما يكون قطر درب التبانة ٢٦,٨كيلوفرسخ فإن هذا مازال رقما أصغر من المتوسط على نحو له مغزى بالكاد

والتحذير من سوء الفهم هنا له أهميته، وذلك لأنه على الرغم من صغر الأعداد التى تضمنها بحثنا إلا إن البحث، بفضل مارتن هندرى، كان مؤسسا على أسس سليمة من التحليل الإحصائى، أثبتت أن كل المجرات فى عينتنا أعضاء فى الأسرة نفسها من الأجرام(العشيرة الاحصائية نفسها) وأن هناك معنى بالكامل لاستنباط متوسط القطر بهذه الطريقة.

على إن إبتهاجى بالنتيجة قد هدأ قليلا لاغير عندما أكتشفت أن نقادى كانوا طول الوقت على صواب فى شئ واحد– أننا لا نستطيع أن نعمم من عينة واحدة. كان هذا ما فعله بالضبط آلان سانديج فى ورقة بحث نشرها فى١٩٩٣ . فقد أختار مجرة (إم ١٠١) التى تبدو كمجرة لولبية «نمطية»، ولها مسافة قيفاوسية معروفة. ثم افترض أن القطر الخطى لإم ١٠١ هو بالضبط القطر

المتوسط للّولبيات، وكان هكذا يستخدم نوع الحجة التى اعتدت إستخدامها بالنسبة لدرب التبانة ليزعم أن أفضل قيمة لثابت هابل هى٤٣ ± ١١ ، بافتراض« أن إم١٠١ ليست المجرة الأكبر فى عينة على مسافة محدودة». وقد بين تحليلنا– كما قد خمن القارئ– أن إم١٠١ هى حقا أكبر مجرة فى جيرتنا (وهذا هو ما تعنيه عبارة«عينة على مسافة محدودة»)، فلها قطر يضرب بكبره إلى مقدار يبلغ ٦١,٨كيلوفرسخ.

وبالطبع فإن نتائجنا قد طرحت فى التو أن قيمة (H) الفعلية لابد وأن تكون«حوالى» ٥٠. ولكن الدرس المستفاد من مجرة إم ١٠١ كان يعنى أنة حتى بالنسبة لى سأوافق على أن هناك حاجة لإجراءدراسة احصائية شاملة لأكبر عدد ممكن من المجرات قبل الإندفاع للنشر. على أن البحث الذى أجرى على حجم درب التبانة كان قائما بذاته. وقد أكتمل فى عيد الميلاد سنة ١٩٩٦، وأرسل للنشر(*) قبل أن نوجه أنتباهنا إلى آلاف اللولبيات التى يعرف ما لها من إزاحات حمراء وأقطار زواية فى الكتالوجات المقننة. وأثناء قيامنا بذلك أتت أنباء من القمر الصناعى (هيباركوس) لها علاقة مباشرة ببحثنا حول عمر الكون.

تم إطلاق هيباركوس فى ٨أغسطس١٩٨٩، وهو أحدمشروعات الوكالة الأوربية للفضاء، ولكنه لم يصل قط إلى ما قصد له من مدار مرتفع فى موضع ثابت. وبدلا من ذلك، حدث فشل لمحرك

(*) لم يتم النشر فعلا إلا فى ١٩٩٨، ولكن هذا كان لخطأ من المحكم والمحرر اللذان لم يفهما السبب فى أن هذا بحث مهم جدا!

الصاروخ الذى يهدف إلى دفع القمر فى هذا المدار، مما أدى إلى أن يبقى القمر الصناعى فى مدار إهليلجى إلى درجة كبيرة يتأرجح بالقمر من أرتفاع ٣٥٠٠٠ كيلو متر فوق الأرض إلى ما ينخفض حتى ٥٠٠كيلومتر فوق الأرض. وبصرف النظر عن أى شئ آخر، فإن هذا يعنى أن سفينة الفضاء تمر مرتين فى كل دورة من خلال حزامى إشعاع فان آلن (*) المحيطين بالأرض، حيث الألواح الشمسية للسفينة هى ومعداتها الإلكترونية تتعرض فى كل مرة لضربات الجسيمات التى فى حزامى الإشعاع. وبدا فى أول الأمر أن مهمة القمر قد فشلت فشلا كاملا. على أنه قد أمكن لعلماء الفلك والمهندسين الذين يديرون المشروع أن يجدوا الوسائل لحل هذه المشاكل، وجعلوا القمر الصناعى يواصل العمل أربعة أعوام(أى لأطول بسنة من العمر المخطط له)، وقام هيباركوس خلال المدة بقياس اختلاف الوضع الظاهرى لما يقرب من ١٢٠٠٠٠ نجم بدقة تصل إلى ٠,٠٠٢ ثانية قوس، وهويستخدم تليسكوبا متواضعا قطرمرآته ٢٩ سنتيمتر (لم يكن هيباركس فى حاجة إلى تليسكوب كبير لأنه لم يكن عليه أن يدرس الأجرام الشاحبة جدا؛ وكانت فائدته الأساسية هى قدرته على قياس اختلاف الوضع الظاهرى، وبالتالى قياس المسافات، وذلك بدقة غير مسبوقة، حيث يعلو القمر الصناعى فوق التأثيرات المضببة لجو الأرض).

(*) طبقتان من طبقات الجو العليا، تحويان جسيمات مشحونة عالية الطاقة تجمعت بفعل المجال المغناطيسى للأرض. (المترجم).

أعاد هيباركوس ما يزيد عن ١٠٠٠ جيجا بايت (Gigabyte)(*) من البيانات أرسلها ثانية لعلماء الفلك على الأرض. إلا أنه كان على هؤلاء العلماء أن يماسوا صبرا هائلا فى انتظار نتائج تحليل هذه المجموعة الهائلة من البيانات، لأن الطريقة التى تولدت بها كانت تعنى أنها لابد أن تعالج ككتلة واحدة من القياسات. ولم يتمكن علماء الفلك من الحصول على أى قياس واحد من عملية المعالجة حتى تمت معالجة كل البيانات معا، وبعدها نالوا كل القياسات فى التو. واستغرقت المعالجة زمنا مماثلا تقريبا لما أستغرقه إجراء الأرصاد أولا، وهذا هو السبب فى أن نتائج هيباركوس لم يتم إطلاقها إلى فى ١٩٩٧، عندما كنا فى غمرة بحثنا على ثابت هابل. وكانت النتيجة هى خريطة للنجوم ذات أبعاد ثلاثة، وقد تعينت مواضعها فى السماء بدقة من جزء واحد فى الألف من ثانية من القوس، الأمر الذى وصفه أحد أعضاء الفريق بأنه يرادف القدرة على التقاط كرة من الجولف فوق قمة ناطحة سحاب الإمبير ستيت باستخدام تليسكوب فوق برج إيفل.

وهذه إشارة لمدى صعوبة كل المحاولات السابقة لإرساء خط الأساس لسلم المسافات الكونية بحيث أن هيباركوس وفر لنا «أول» قياسات مباشرة للمسافات إلى القيفاوسيات، باستخدام اختلاف الوضع الظاهرى. أما قبلها فكانت المسافات القيفاوسية القليلة التى قيست، تعتمد كما وصفت فى الفصل الثالث على طرائق إحصائية غير مباشرة لقياس المسافات إلى نجوم معدودة رئيسية - هى ثمانية

(*) الجيجا بايت تساوى بليون بايت. والبايت وحدة لقياس ذاكرة الكمبيوتر تتكون من ٨ بتات bit، والبتة رقم ثنائى هو أصغر وحدة معلومات للكمبيوتر. (المترجم).

عشر قيفاوسيا لا غير. إلا أن هيباركوس وفر قياسا مباشرا للمسافة لا فحسب لقيفاوسيات معدودة، وإنما لمائتين وعشرين من هذه النجوم، وأجرى تحليل تفصيلى تأسس على الستة والعشرين قيفاوسيا التى حددت لها أدق القياسيات لمسافات تغير الوضع الظاهرى، ووفر هذا التحليل معايرة حاسمة لمقياس المسافة القيفاوسى (فيما يعرض، فإن هذه النسبة الصغيرة للقيفاوسيات، ٢٢٠ من بين ١٢٠٠٠٠ نجم درست، تدل بدقة على مدى ندرة القيفاوسيات، وهذا سبب آخر فى أن الأجيال السابقة من علماء الفلك لم يكن لديها إلا بيانات بالغة القلة يبحثون بها).

ثبت فى النهاية أن القيفاوسيات أنصع هونا وأبعد هونا مما كان يعتقد قبلها، وأدى هذا إلى زيادة مقياس المسافة الكونى (وعمر الكون كما يستدل عليه) بحوالى ١٠ فى المائة. على أنه حدث فى الوقت نفسه تقريبا الذى كان يعلن فيه عن هذا البحث، أن أجريت دراسة أخرى على الطريقة التى استخدمت بها القيفاوسيات فى السحابة الماجلانية الكبرى كدرجة سلم للوصول إلى المجرات الأكثر بعدا، وطرحت هذه الدراسة أنه ربما يجب الإقلال من مقياس المسافة القيفاوسى المعيارى، بما يصل فيما يحتمل إلى حوالى ٥ فى المائة. وعموما يبدو أن التصحيحين يلغى أحدهما الآخر؛ إلا أنه مما يستحق أن نبقيه فى ذهننا أن إحدى دلالات مسح هيباركوس هى أن كل قيم (H) التى ذكرت فى الفصل السابق وفى هذا الفصل ربما يجب أن تخفض خفضا هينا (وأن يزيد العمر الذى يقدر للكون بما يناسب ذلك)، وإن كان ذلك لا يصل إلى خفض بعشرة فى المائة.

على أن الجانب المثير حقا فى مسح هيباركوس هو ما فيه من دلالات عن أعمار العنقوديات الكروية فى مجرتنا. فقد وجد علماء الفلك الذين يبحثون بيانات هيباركوس أنهم بإعادة معايرة نصوع النجوم المناسبة فى التتابع الرئيسى، مستخدمين المسافات إلى النجوم القريبة كما تحددت بدقة بواسطة تغير الوضع الظاهرى، وجدوا أن العنقوديات الكروية أبعد بما له معناه عما كان يعتقد من قبل. وتعنى هذه النتيجة، التى أعلنت مبكرا فى ١٩٩٧، أن النجوم فى هذه العنقوديات لابد وأن تكون أنصع مما كان يعتقد عادة، حتى تظهر ناصعة بما تظهر به فى السماء. وحيث أن النجم الأنصع جبليا يحرق وقوده النووى بسرعة أكبر من النجم الأشحب جبليا، فإن هذا يعنى أن أكبر النجوم سنا فى المجرة هى أصغر سنا مما كان يعتقد عادة - فالنجم (أو العنقودية) الأصغر سنا والأسخن حرارة يقلد مظهر النجم (أو العنقودية) الأكبر سنا والأشحب لأنه قد استهلك وقوده النووى بسرعة أكبر.

خفض هيباركوس من أفضل تقدير لعمر العنقوديات الكروية التى يعرف عنها أنها الأكبر سنا، ليقل هذا العمر من ستة عشر بليون سنة إلى أحد عشر بليون، وذلك فى ضربة واحدة جعلت الحياة أريح كثيرا بالنسبة لعلماء الكونيات الذين يحاولون المواءمة بين تقديراتهم لعمر الكون (الزمن الذى مر منذ وقوع الإنفجار الكبير) وتقديرهم لأعمار أكبر النجوم سنا. وعلى وجه الدقة، فإنه بعد أن يدخل فى الحساب ما بقى من أوجه عدم يقين، تنخفض

أفضل التقديرات لأعمار أكبر النجوم سنا من مدى ستة عشر إلى ثمانية عشر بليون سنة ليصبح المدى من أحد عشر إلى ثلاثة عشر بليون سنة. وقد خرج بالنتيجة نفسها بالضبط ثلاثة فرق بحث مختلفة، استخدموا فيما بينهم بيانات هيباركوس بطريقتين مختلفتين على ثلاث مجموعات مختلفة من النجوم. وفيما يعرض فإن هذا البحث أعطى أيضا أثناء إجرائه تقديرا لمسافة بعد المنظومة الشمسية عن مركز التبانة، لتصبح ٨,٥ ± ٠,٥ كيلو فرسخ.

كان هناك (ولا يزال هناك) بعض الجوانب المحيرة فى مسح هيباركوس. فنجد بالنسبة للقليل من المنظومات القريبة (وذلك على نحو ملحوظ فى عنقودية بليادس (الثريا) المفتوحة، «والشقيقات السبع» فى كوكبة طوروس (الثور))، أن المسافات التى يدل عليها هيباركوس تغير من تقديرات عمر النجوم لأكثر مما يمكن أن تتكيف معه بسهولة النماذج المعيارية لتطور النجوم. إلا أن من مهمة المنظرين أن يخرجوا بنماذج تتفق مع الأرصاد، وليس من مهمة الراصدين أن يلووا بياناتهم لتتفق مع النماذج، وعلى أى حال فإن الخلاف الذى أثارته هذه الدراسات عن العنقوديات المفتوحة ليس له إلا أدنى علاقة، أو ليس أى علاقة، بقصة أعمار العنقوديات الكروية. ظهرت الدراسة الحاسمة عن كل الأدلة المتاحة وقتها حول العنقوديات الكروية فى صيف ١٩٩٧، عندما كنا نحن ننهى توها بحثنا عن ثابت هابل. خرجت هذه

الدراسة على يد مجموعة رأسها بريان تشابوير فى جامعة أريزونا، ولم تقتصر المجموعة على استخدام بيانات هيباركوس عن تغير الوضع الظاهرى، وإنما استخدمت أيضا أربعة تكنيكات أخرى مستقلة للخروج بأفضل تقدير لهذه الأعمار حتى ذلك الوقت. وثبت فى النهاية أن بيانات هيباركوس هى فى الحقيقة قشة واحدة لا غير فى مهب رياح كانت بالفعل تتزايد شدة، وأنه بالتحسين المستمر للتليسكوبات المثبتة فوق الأرض، والكشافات الإلكترونية، والكمبيوترات التى تتناول الاحصائيات وتجرى النماذج النجومية، وحتى بدون هيباركوس، فإنه بحلول منتصف تسعينيات القرن العشرين ظهرت الحاجة إلى تصحيح بالزيادة لمسافات بعد العنقوديات الكروية وتصحيح بالنقص لأعمار العنقوديات الكروية، وكان الأمر المهم أن الأدلة كلها تشير لنفس الاتجاه ـ وكان الأمر الأهم من كل شئ الذى يجعل هذه اللحظة لحظة حسم فى هذه الدراسات، هو أن بيانات هيباركوس كانت تتفق مع كل تكنيكات الأجهزة المثبتة فوق الأرض.

خرج تشابوير وزملاءه بأن أفضل تقدير للعنقوديات الكروية الأكبر سنا فى مجوتنا هو ١١,٥ ± ١,٣ بليون سنة، باحتمال من واحد فقط من العشرين بأن هذه الأعمار يمكن أن تكون أقل من ٩,٥ بليون سنة. وكما أوضحوا، فإنه يمكن حتى لأعلى قيمة للحد الأدنى لعهر الكون كما يستدل عليه، أن تتفق مع ما مر من زمن منذ الانفجار الكبير، حتى ولو كانت ذلك فى نموذج كون مسطح

مثل نموذج أينشتين ـ دى سيتر، وذلك عندما يكون قيمة ثابت هابل أقل من ٦٧ كم / ثانية فى الميجا فرسخ. ولم يكن فى ذلك أى مشكلة مطلقا كما عرفنا من قبل عندما قرأنا ورقة بحثهم فى يونيو ١٩٩٧.

استغرق وصولنا إلى قيمتنا الحاسمة لـ (H) زمنا طويلا هكذا لأننا كنا مصممين (تصميما مضاعفا، بعد أن رأينا ما حدث عندما حاول سانديج أن يضع كل بيضه فى سلة إم ١٠١) أن نؤسس هذه القيمة على تحليل احصائى شامل حقا لأفضل ما يتاح من بيانات. إلا أن هذا ما كان ليستغرق ستة شهور، ولكن حدث لسوء الحظ (بالنسبة لى ولسيمون جودين ـ وكان الأمر بالنسبة له فيه إرتقاء لدرجة أعلى فى السلم الأكاديمى) أن الساحر الاحصائى فى الفريق، أى مارتن هندرى، انتقل إلى وظيفة أعلى فى جامعة جلاسجو، ولم يتمكن طوال أسابيع عديدة من أن يكرس وقتا كثيرا لمشروعنا. كان من السهل أن نرى الاتجاه الذى تهب فيه الريح حتى بدون أفضل الاحصائيات. كان سانديج فى تحليله الذى أسسه على حجم إم ١٠١ كلولبية «نمطية»، قد استخدم وحسب فى استقصائه ستا وثمانين مجرة مجالية، وقدر مسافات بعدها بمقارنة أقطارها الزاوية الظاهرية مع القطر الزاوى الظاهرى لمجرة إم ١٠١، ثم قارن بعد ذلك هذه المسافات مع إزاحتها الحمراء ليقدر قيمة (H). وقد أعدنا قياس بيانات سانديج بالنسبة للقطر المتوسط

للولبيات كما حددناه بدلا من قطر إم ١٠١، وما أن قمنا بذلك فحسب، ولكن مع استخدام المجرات المجالية الست والثمانين نفسها، حتى نتج عنه زيادة هذا التقدير لـ (H) من ٤٣ إلى ٥٧ (كان هذا النوع من التناول السريع السهل فيه ما يستهو ينى، ولكنه لم يثر أى اهتمام كبير عند زملائى) إلا أننا كنا نريد إجراء البحث على مجرات عددها أكبر كثيرا، واستقر بنا الرأى على أن نستخدم فى دراستنا كتالوج يعرف بأنه «الكتالوج المرجعى الثالث للمجرات الناصعة»، أو أرسى ٣ «RC 3» (مما يثير بعض السخرية، بالنظر إلى استنتاجاتنا، أن هذا الكتالوج كان مؤسسا على بحث لفريق كان يرأسه جيرار دى فوكولير، على أن فوكولير كان دائما راصدا ممتازا، وقد اخترنا الكتالوج لأنه كان الأفضل فى نوعه) . أعطانا هذا ٢٧ ٣٨ مجرة لولبية نتناولها بالبحث، وكلها لها إزاحات حمراء معروفة (أكبرها يرادف سرعة تبلغ حوالى ٢٠٬٠٠٠ كم/ ثانية)، وقد قيست أقطارها الزاوية، بما يتفق والقواعد التى وصفت من قبل. وها هنا تدخل الاحصائيات.

نسقنا أولا من عينة الجيرة القريبة ومن تقديرنا لمتوسط حجم مجرة مثل درب التبانة. كان لدينا أصلا سبع عشرة مجرة أخرى بالإضافة إلى درب التبانة نفسها، بما يصل مجموعه إلى ثمانى عشرة لولبية نؤسس عليها قيمة المتوسط - ويتفق أن هذا بالضبط هو العدد نفسه مثل عدد القيفاوسيات ذات مسافات البعد المعروفة

والتى تأسس عليها أصلا مقياس المسافات الكونى (أنظر الفصل الثالث). وحتى نكون أمناء على نحو مدقق، حذفنا من العينة ست مجرات، وبقى معنا هكذا اثنتا عشرة مجرة (بما فيها درب التبانة نفسها) كلها تشبه مجرة درب التبانة أكبر الشبه فى المظهر العام. وأحد المعالم الرئيسية لتحليلنا هى أننا كنا نحاول مقارنة المثل بالمثل. وقد كان هابل نفسه هو الذى عرّف أصلاء فى عشرينيات القرن العشرين، الأنواع المختلفة من المجرات اللولبية، وقد صنفت أساسا حسب مدى ما يكونه إحكام اللف أو تفتحه فى النمط اللولبى، وحسب هذا التصنيف استخدمنا فقط مجرات من «أنماط هابل» التى تقع بين نمط٢ و٦.

عندما قارنا متوسط حجم هذه العينة المحلية من المجرات مع متوسط حجم المجرات فى كتالوج آرسى ٣، فإن ما وجدناه بالفعل لم يقتصر على أن يعطينا قيمة لـ (H)، ولكنه أيضا ألقى ضوءا كاشفا بصورة مصغرة للأسباب التى أدت إلى أن يوجد دائما مدرستان فكريتان بالنسبة لقيمة ثابت هابل. كانت الطريقة التى أجرينابها المقارنة طريقة بسيطة. كان لدينا آلاف من المجرات التى يعرف مالها من أقطار زاوية ظاهرية (أقطار التساوى الضوئى، التى قيست بنفس طريقة قياس عينتنا المحلية) ويعرف ما لها من إزاحات حمراء، ولكننا لا نعرف (بعد) قيمة (H). ويتحول كل قطر زاوى بالتثليث إلى قطر خطى حقيقى عندما تضرب قيمته بعدد يعتمد على الإزاحة الحمراء (المعروفة) وعلى

«H» (غير المعروفة)، بحيث يعطون هكذا معا المسافة لكل مجرة. وباالتالى فإنه بالنسبة لأى قيمة مختارة لـ (H)، يمكننا أن نستنبط القطر الخطى «الحقيقى» الملائم لكل مجرة فى العينة، ونأخذ المتوسط للعينه كلها. وكل ما علينا أن نفعله هو أن نجد قيمة وحيدة لـ (H) تجعل هذا المتوسط مماثلا لمتوسط القطر الخطى للمجرات المحلية التى لها مسافات بعد قيفاوسية. ولو كان لدى هابل وهو ماسون فى ١٩٣٠ فرصة الاستفادة من وجود كتالوج آرسى ٣ لأمكنهم حساب ذلك باستخدام القلم والورق، وسيكون إجراء ذلك مجهدا ولكنه لن يكون صعبا، أما بالنسبة لنا، ونحن لدينا كومبيوتر يؤدى العمل الشاق، فلم يكن فى ذلك أى مجهود مطلقا. ولكن كان لا يزال علينا أن نكون حذرين بشأن مقارنة المثل بالمثل.

لو أننا تصرفنا بتفاؤل أعمى وأخذنا كتالوج أر سى على عواهنه، مفترضين أنه لا توجد تحيزاتُ رصدية فى العينة (بمعنى تحيزات تدخلها ميكانيكا عملية الرصد، وليس بأى تحيزات من الراصدين أنفسهم) لو فعلنا ذلك ثم حسبنا المتوسط بهذه الطريقة، فإن هذا يعطينا متوسطا لطيفا جدا يتفق مع ما تعطيه عينتنا المحلية كمتوسط لقيمة (H) قدره ٨٠. ولكننا نعرف أن هذا لا يمكن أن يكون صوابا، لأننا نعرف أن العينة متحيزة بسبب ما فى تليسكوباتنا من أوجه قصور.

كانت المشكلة الكبيرة، كما هو الحال دائما، هى مشكلة تحيز مالمكويست (وهو فى هذه الحالة نوع من تحيز مالمكويست الهندسى). كتالوج أر سى ٣ يتضمن فقط المجرات التى لها قطر

زاوى فى السماء أكبر من دقيقة واحدة من القوس. وبالتالى فلابد وأنه متحيز تجاه المجرات الكبيرة، حيث أن المجرات الصغيرة التى على مسافات كبيرة يحدث لا غير أنها لا يتم اختيارها فى الكتالوج. وكمثل فإن درب التبانة نفسها لن تظهر فى هذا الكتالوج عند مسافة تناظر إزاحة حمراء مقدارها أكبر من حوالى ٥٠٠٠ كم/ ثانية. وبالتالى كان أول ما علينا أن نفعله هو أن نحذف من العينة كل المجرات التى لها إزاحات حمراء كبيره جدا، حيث تكون هذه المشكلة حادة أقصى الحدة. وحذفنا أيضا كل المجرات التى لها إزاحات حمراء صغيرة جدا، لأنه بالنسبة لهذه المجرات القريبة سينتج عن الحركات العشوائية المحلية تأثيرات لظاهرة دوبلر مشابهة للإزاحات الحمراء الكونية التى نحاول استخدامها، مما يثير بلبلة فى المسألة. وبالتالى فقد استخدمنا فى الحسابات التفصيليلة مجموعة فرعية من مجرات آر سى ٣ لها إزاحات حمراء بين ١٥٠٠ و٥٠٠٠ كم / ثانية (أى على نحو واضح، حتى النقطة التى تكون عندها مجرة من نفس حجم درب التبانة ما زالت مما يمكن الكشف عنه بالكاد). وإذا كانت قيمة (H) هى ٥٠ فإن هذا يناظر مسافة من مائة ميجا فرسخ، أى حوالى خمسة أمثال المسافة من هنا إلى قلب عنقودية فيرجو. وكان هذا لا يزال يوفر لعالمنا الإحصائى ١٣٨٨ مجرة يجرى البحث عليها (كلها بأنماط هابل فى المدى بين نمطى ٢ ـ ٦)، وهذا عدد يكفى لأن يطبق عليه

بطارية من التكنيكات الاحصائية التى تثبت أن ما لدينا هو عينة من نوع ما يسميه الاحصائيون بأنه عينة حسنة السلوك تخضع للاحصائيات الجاوسية (التى سميت على اسم عالم الاحصاء العظيم كارل جاوس).

على أننا كنا غير بعيدين تماما عن هدفنا. وعندما يزعم المتفائلون أن هذا هو كل ما علينا أن نفعله بعينة الكتالوج فإن الواحد منهم سيجرى عندها مقارنة بين متوسط أحجام المجرات فى العينة المختصرة وبين المتوسط عينتنا المحلية العيارية، ليخرج بأن قيمة (H) هى ٦٠. إلا أننا نستطيع أن نفعل ما هو أفضل من هذا، بأن ندخل فى الحساب التأثير المتخلف عن وجود تحيز مالمكويست الهندسى فى العينة (وذلك أساسا بأن نرى كيف ستبدو المجرات الصغيرة أقل عددا عندما نتطلع لأبعد فى الكون، وندخل فى حسابنا عدد المجرات المفتقدة بالطريقة الاحصائية الملائمة). وعندما اكتملت حساباتنا خرجنا بأن أفضل تقدير لـ (H) وهو ٥٢ ± ٦كم/ ثانية فى الميجا فرسخ. هكذا توصلنا لقياس قيمة ثابت هابل. وينبغى أن أعترف بشعورى باحساس خاص من البهجة لأننا قد أنجزنا هذا بما يكاد يصل إلى درجة من الدقة تبلغ ١٠ فى المائة، وهذه الدرجة كانت مما يهدف إليه (مشروع هابل الرئيسى)، مستخدمين فى جزء من ذلك مسافاتهم القيفاوسية، وذلك قبل أن يتوصلوا هم أنفسهم لدرجة دقة مماثلة.

طبق مارتن هندرى بطارية من اختبارات احصائية أخرى، فبين أيضا أن هناك احتمالا واحد من العشرين بأن تكون H أكبر من ٧٥ (وبما يناظر ذلك هناك فقط احتمال واحد من العشرين بأن تكون (H) أقل من ٣٥). ولعل هذا أن يكون أقل هونا كسبب للبهجة، ولكنه ربط بالفعل بحثنا ربطا محكما باتفاق الرأى الذى وصفناه فى الفصل السابع - بل وربطنا حتى (بمشروع هابل الرئيسى) نفسه، حيث كان ما يكافئ ذلك كحد ،ثقة من ٩٥ فى المائة، كما ذكره فريق بحثهم عند بداية ١٩٩٨، هو من ٥٥ إلى ٨٥، بالوحدات المعتادة.

بل أن الاتفاق بين نتيجتنا ونتيجة فريق (مشروع هابل الرئيسى)قد يكون حتى أفضل مما يبدو عليه لأول وهلة، لأن هناك شيئا واحدا لم أذكره وهو أنه يكاد يكون من المؤكد أن المجرات التى أختارها فريق (المشروع الرئيسى) للبحث عن القيفاوسيات هى مجرات أكبر هونا عن اللولبية المتوسطة، وذلك لا غير بسبب النزعة الطبيعية للاتجاه إلى أكبر وأنصع أجرام يمكن لهم رؤيتها. وإذا كان الأمر هكذا، فإنه ينبغى زحزحة كيان كل نتيجتنا (بحدود خطأها وكل شئ) فى اتجاه القيمة الأكبر لـ (H). ولكن بزحزحة ليس جد كبيرة - وقد أجرى مارتن هندرى وستيفان راوزى فى ١٩٩٩ تحليلا جديدا، حدث تماما فى الوقت نفسه الذى اتخذت فيه هذه الطبعة من الكتاب طريقها للمطبعة، وحاولا فى هذا التحليل أن يدخلا هذا التأثير فى الحساب، وطرحا أن تكنيك

تصحيح قطر المجرة قد يؤدى إلى أن تكون قيمة (H) عند منتصف الستينيات. وأعلن فريق (المشروع الرئيسى) فى الوقت نفسه قيمتهم النهائية لـ (H)، ومع إدخال حساب الأخطاء غطت هذه القيمة مدى من ٦٥ إلى ٧٧، بالوحدات المعتادة. ومازلت أظن أن هذه النتيجة أعلى قليلا مما ينبغى، وذلك للأسباب التى ناقشناها من قبل، «وأفضل تخمين» لدى شخصيا هو أن (H) قيمتها حوالى ٦٠. على أن ما تبقى من أمور تلزم تسويتها هو فى أغلبه مسألة تفاصيل، وبالتالى فإن هذا هو الوقت الطبيعى لأن نضع العلامة التى تحدد نهاية المرحلة الأولى من استقصاء عمر الكون.

علينا ألا نهمل المنظور الأوسع. وكما أننا قد قسنا قيمة ثابت هابل، فقد وجدنا كذلك أن درب التبانة أصغر هونا من اللولبية المتوسطة، وأن هناك بعض لولبيات ماردة أكبر من درب التبانة بأربعة أمثال. هكذا استغرق علماء الفلك أربعة وستين عاما لإثبات أن ما اعتبر إدنجتون أنه أمر من الحس المشترك هو أمر صحيح. وبصرف النظر عن أننا توصلنا إلى قيمة مضبوطة لـ (H)، فإن الدلالة المهمة للعثور على هذه القيمة بالذات لـ (H) هى أننا نعيش حقا فى جزء نمطى من الكون. فمبدأ المكانة العادية للأرض مبدأ صحيح، وبالتالى فإن من المعقول أن نستمد استنتاجات عامة من أبحاثنا على المجرات التى اتيحت لنا فى منطقتنا المعينة ـ فالأمر جدير حقا بأن يؤدى به علم الكونيات.

عندما حل الوقت الذى أنهينا فيه بحثنا (وليس عند بدايته) كان هناك اتفاق رائع بين تكنيكات مختلفة كثيرة بأن قيمة (H) تقع حقا فى المدى بين ٥٠ إلى ٦٠، وعلى الرغم من ذلك إلا أننا نميل إلى الاعتقاد بأن هناك شيئا خاصا فيما يتعلق بطريقة تناولنا للأمر. وأول كل شئ بالطبع أنها طريقة للتناول تتأسس على المسافات القيفاوسية، والكل يتفقون على أن القيفاوسيات هى أفضل مؤشرات للمسافة وأقلها إثارة للخلاف، وهى درجة السلم المؤسسة على أكثر الأسس متانة بين درجات سلم المسافات الكونية التقليدى، بأخطاء تبلغ فى أقصاها نسبة مئوية قليلة. أما بعدها، فلكى نتحرك خارجا فى الكون لأبعد مما تأخذنا اليه القيفاوسيات وحدها، فإننا قد استعملنا لذلك تكنيكا هندسيا بالكامل، هو صحيح بمثل صحة تكنيك تغير الوضع الظاهرى نفسه، وعلى عكس طريقة التناول «المشعوذة». وكما أوضحت فيرجينيا تريمبل (هى وآخرون) فإن الطرق الهندسية وحدها هى التى «تقيس» بالفعل المسافات عبر الكون؛ أما التكنيكات الأخرى كلها «فمجرد مؤشرات»تتطلب بعض خطوات إضافية من الإستدلال أو الاستنتاج، وعلى الأقل بعض مدخل من الفيزياء. وحتى يفهم المرء طريقتنا لقياس (H)، فإنه لا يحتاج لفهم أى شئ سوى تكنيكات المسح الهندسى التى تستخدم كل يوم هنا فوق الأرض. وبهذا لا يبقى لنا سوى مهمة تتطلب ما هو أبرع هونا، مهمة تحويل «قياسنا» المتين الأساس لثابت هابل إلى قياس لعمر للكون.

لو كـان الكون قـد ظل يتـمـدد دائمـا بنفس السـرعـة الثـابتـة منذ الانفجار الكبير (أى إذا كان ثابت هابل ثابتا حقا وليس بالمعلمة التى تتناقص بزيادة عمر الكـــون)، فإن قيمة (H) التى تبلغ ٥٠ كم / ثانية فى الميجا فرسخ سيكون معناها أن عمر الكون هو ٢٠ بليون سنة، بما يتسع لأن يدخل فيه أعمار أقدم الأجرام المعروفة فى الكون. والحقيقة أن هذا عمر أوسع «مما ينبغى»، لأنه يتضمن أنه أثناء أول خمسة أو ستة بلايين عام من وجود الكون لم يحدث مطلقا أى شئ بحيث يترك علامة فى كوننا الحالى - أى أثناء ٢٥ فى المائة من حياة الكون حتى الآن. إلا أنه كما شرحت من قبل، فإن مفعول الجاذبية - يبطئ من سرعة التمدد، بحيث أن (H) كانت فى الماضى أكبر مما هى الآن عليه. وسنجد بما يناظر ذلك أن عمر الكون أصغر مما نستنتجه من غير أن ندخل فى الحساب مفعول الجاذبية بهذه الطريقة، لأن الكون كان منذ زمن بعيد يتمدد بسرعة أكبر، واستغرق فى الوصول إلى وضعه الحالى زمنا أقل مما كان يستغرقه لو أنه كان يتمدد دائما بالسرعة التى نراها الآن.

السؤال الآن هو، إلى أى قدر يقلل ذلك من تقديرنا لعمر الكون؟ سنجد فى أبسط نموذج لأينشتين - دى سيتر، حيث الكون مسطح وكثافته هى بالضبط الكثافة الحرجة للمادة، أن علينا أن نقلل من عمر الكون بنسبة حوالى ٣٠ فى المائة، ليصبح أكثر قليلا من ثلاثة عشر بليون عام. يود الكثيرون من علماء الكونيات أن يكون هذا هو التوصيف الصحيح للكون، لأنه بسيط كل البساطة، ولأن

نموذجهم المفصل للانفجار الكبير، نموذج الانتفاخ، يقول أن الكون ينبغي أن يكون قريبا جدا من أن يكون مسطحا (أنظر كتابي «البحث عن الانفجار الكبير") . ولكن الأرصاد لا تستطيع بعد إثبات ذلك، وكل ما يمكن لها أن تخبرنا به هو أنه يجب أن يوجد في الكون ككل ما يبلغ على الأقل ثلث واحد من الكثافة الحرجة للمادة. وعندما يكون للكون ثلث واحد فقط من الكثافة الحرجة، فإنه يكون فحسب مفتوحا، وليس مسطحا، ولن يكون قد أبطأ كثيرا في تمدده منذ الانفجار الكبير، وبالتالي فإن قيمة (H) التي تقاس الآن ستكون مرشدا أكثر دقة للسرعة العامة التي ظل الكون يتمدد بها أثناء حياته. والحقيقة، أن عامل تخفيض العمر يصبح الآن ٢٠ في المائة بدلا من ٣٠ في المائة. وبهذا يكون علينا أن نخفض عمر الكون كما يستدل عليه، من عشرين بليون سنة إلى ستة عشر بليون.

ومن غير استدعاء للثابت الكوني (لوفعلنا ذلك سيصبح من الممكن أن يكون لدينا أي عمر نشاء بأن نختار القيمة المناسبة للثابت)، فإن هذا يعطينا مدى الأعمار المحتملة للكون عندما تكون قيمة ثابت هابل ٥٠. دعنا نتذكر أنه بفضل يرجع في جزء منه إلى هيباركوس وكذلك أيضا إلى الدراسات المقارنة الأخرى التي أجراها تشابوير وزملاؤه، فإن تقديراتنا لأعمار أكبر الأشياء سنا من الأشياء المعروفة في الكون، أي العنقوديات الكروية، تقديرات تقع الآن في مدى من عشرة إلى ثلاثة عشرة بليون سنة، مع

تقـدير أفـضل قـيـمـة بأنهـا ١١,٥ بليـون سنة. ولنلاحظ إن مجموعتي الأرقام لم تعد بعد تتداخل. وهكذا حدث لأول مرة في تاريخ علم الفلك أن توصلنا في ١٩٩٧ إلى أن الرقمين المتعلقين بعمر أكبر الأجرام سنا في الكون وبعمر الكون نفسه أصبح كل منهما عند الجانب الصحيح من الآخر. وحتى عندما ندخل في الحساب بليون سنة لتشكيل أول منظومات نجمية بعد الانفجار الكبير (وهذا تقدير قريب من الصواب حسب نماذج الكمبيوتر)، وحتى عندما نستخدم أبسط نموذج للكون، وهو ما يعطينا أصغر عمر ممكن، وحتى عند هذا لن يكون هناك أى نزاع. بل وبعيدا عن ذلك - سنجد أن هناك اتفاقا يثير أقصى الإعجاب بين رقمين قد استمدا بطرائق مستقلة تماما، باستخدام تكنيكات لا علاقة بينها مطلقا، استعملت لأبحاث على ظواهر مختلفة اختلافا مطلقا - أي تمدد الكون وتطور النجوم.

من الصعب أن نبالغ في أهمية هذا الإكتشاف. وما لم نكن ضحايا صدفة من أشد الصدف قسوة، فإن هذا الإكتشاف يعني أننا نفهم بالفعل طريقة سلوك النجوم، ويعني كذلك أن الكون حقا قد بدأ بالفعل عند لحظة محددة في الزمان - أو الأحرى أنه كانت هناك بداية للزمان نفسه. ومنذ سبعين سنة، أي مدة حياة إنسان واحد، كانت أفعال النجوم ما زالت في معظمها لغزا، وكانت فكرة وجود مولد للزمان لا يكاد يكون لها وجود في الدوائر العلمية. وبالنسبة لأفراد أي جيل سابق، كان الزعم بإن هناك من يفهم ما يدور من أعمال داخل النجوم، «أو» الزعم بوجود مولد للزمان، سيبدو لهم كضرب من السحر. ونحن الآن نفهم الأمرين معا،

تحدثت فى كتاب سابق، هو «البحث عن سوسى»(*) عن الطريقة التى يأمل بها علماء فيزياء الجسيمات، عندما يسبرون البنية الداخلية للمادة، أن يجدوا الحقيقة العميقة لطريقة عمل القوى والجسيمات فى الطبيعة، مجمّعين توصيفهم فى حزمة رياضية واحدة، أى فى نظرية كل شئ. ولكن هذا يعد بالنسبة لمعظمنا فكرة تتسم نوعا بأنها تجريدية وصعبة الفهم إلا لقلة. لم ير أحد أى كوارك. على أنه بما يتباين مع ذلك، فإننا كلنا نرى النجوم، ولا يمكن إلا لقلة منا ألا تتساءل عن معناها؛ والعلم قد بدأ فيما يحتمل عندما أخذ أجدادنا لأول مرة يقلبون البصر فى السماء، وأخذوا يتساءلون عما تكونه النجوم وكيف وصلت للوجود هناك. وإذا كان هناك فى العلم حقا أى «حقيقة عميقة»، فهى ما يوجد من اتفاق بين الفيزياء الفلكية للنجوم وبين الكونيات، واكتشاف مولد الزمان. وأنا أحس بالذهول من أنى كنت محظوظا بدرجة كانت كافية لأن أقوم بدور صغير فى إثبات هذه الحقيقة عن الكون، وأحس بالسعادة لأنى تمكنت من أجعل القارئ يشاركنى فى ذلك.

(*) سوسى إسم يطلق على فكرة نظرية تسمى السمترية الفائقة Super symmerry توحد نوع الجسيمات تحت الذرية. (المترجم).

تعقيب
الصورة الكبيرة

ظهرت خلال ١٩٩٩ أدلة عديدة جديدة تؤكد معا أن عمر الكون يزيد قليلة عن ثلاثة عشر بليون عام، ولكنها أدلة تعطى منظورا يختلف فقط اختلافا هينا بالنسبة للصورة الكبير لعلم الكونيات. وكانت القصة التى نالت أكبر اهتمام صارخ فى وسائل الإعلام هى الأدلة التى أكتشفت من دراسات السوبر نوفات البعيدة جدا، والتى تطرح أن تمدد الكون يتسارع بالفعل، ولا يتباطأ، مع زيادة عمر الكون. ويمكن التعبير عن هذه الظاهرة رياضيا بلغة من ثابت أينشتين الكونى لامبدا، أما بلغة الفيزياء فيكون فى الإمكان فهمها بلغة من طاقة الفراغ (energy of the vacuum)، وهى طاقة يحوزها الفضاء الخاوى. وأحد تأثيرات هذه الطاقة أنها تجعل الفضاء مرنا، حتى ليتمدد. ولكن دعنا نتذكر إن الكتلة والطاقة تكون العلاقة بينهما حسب معادلة أينشتين ط = ك س٢

(E = MC2) ـ وبالتـالى فـإن وجـود طاقـة فـراغ يزيد من كـتلة الكون (وبالتالى يزيد من كثافته). وهذا يوفر شدا جذيويا إضافيا، ينحو إلى أن يبطئ من التمدد. وقد حدث خلال معظم تاريخ الكون حتى الآن، أن كـانت العوامل المؤثرة متوازنة تقريبا كل التوازن، وبالتالى فإن الثابت الكونى لم يكن له تأثيـر عميق على الطريقة التى أصبح بها الكون على ما هو عليه الآن. وهذا يعنى أن القصـة التى رويتها فى هذا الكتاب، عن الطريقة التى قاس بها علماء الفلك عمر الكون، لا تتأثر فى جوهرها باكتشاف أن هناك ثابت كونى صغير. أما من حيث أن هذا فيه تأثير على الحسابات التى وصفت هنا، فإنه يعمل بنجاح بالطريقة «الصحيحة». وإذا كان تمدد الكون قد أصبح أسرع إلى حد صغير بسبب الثابت الكونى، فإن هذا يعنى أنه كـان يتمـدد فى الماضى بسـرعة أبطأ إلى حد صغير وأنـه قد استـغرق زمنا أطول ليـصل الانفجـار الكبـير إلى وضـعه الحـالى. وبكلمات أخرى فمن الممكن أن يكون لدينا اليوم قيم لمعلمة هابل، (H)، مقدارها أعلى هونا (فى الستينيات بدلا من الخمسينيات)، ويظل لدينا عمر للكون يزيد عن ثلاثة عشر بليون منه. وإذ يتمدد الكون لأكثر فى المستقبل وتنخفض كثافة مـادته، فسوف تصل طاقـة الفراغ إلى الهـيمنة، وتأخـذ عـجلة التسـارع فى أن تهـرول بعيدا، مع حدوث تأثيرات عميقة فى مصير الكون النهائى ـ ولكن هذه قصة أخرى.

تطرح أدلة السوبر نوفا أن كمية الطاقة المختزنة فى الفراغ بهذه الطريقة تبلغ تقريبا ما يكفى لأن يوفر ٧٠ فى المائة من الكثافة الحرجة اللازمة لجعل الكون مسطحا، على النحو الذى كان أينشتين ودى سيتر يأملان ما ربما يكون الكون عليه. ولما كنا نعرف من الأرصاد الأخرى أنا حوالى ٣٠ فى المائة من الكثافة الحرجة توجد من حولنا فى شكل مادةو فإن هذه الدراسات تطرح مباشرة أن أينشتين ودى سيتر كانا على صواب. وأصبحت قضية الكون المسطح قضية لا تقبل الجدل بعد وقت قليل من ذلك فى ١٩٩٩، وذلك بفضل أرصاد جديدة لإشعاع خلفية الكون من الموجات الميكروويفية، أجريت بواسطة أجهزة تحملها البالونات عاليا. وهذه أرصاد رهيفة جدا لتفاصيل النمط التى يصنعه الإشعاع فى السماء (الطريقة التى تتباين بها درجة حرارته تباينا دقيق الصغر من مكان لآخر السماء)، وتتأثر بشكل الفضاء الذى ينتقل الإشعاع من خلاله. وتبين هذه الأرصاد الجديدة أن الكون مسطح حقا بالمعنى الذى قصده أينشتين. ولما كنا نرى ما يوجد من أدلة تتعلق فقط بنسبة ٣٠ فى المائة من الكثافة الحرجة فى شكل المادة، فإن هذه الأرصاد تخبرنا أيضا، بطريقة مستقلة عن دراسات السوبرنوفا، بأن طاقة الفراغ، أو مصطلح لامبدا فى معادلات أينشتين، تزودنا بسبعين فى المائة من الكثافة الحرجة.

في نهاية ١٩٩٩ لخص تشارلز لاينويفر بجامعة نيوساوث ويلز، تأثير هذا كله في حسابات علم الفلك لعمر الكون. وبجمع كل الأدلة معا (بما في ذلك بعض الظواهر الرهيفة التي لم أناقشها هنا)، فإن لا ينويفر خرج بقيمة لـ (H) في الستينيات (بما يتفق مع قيمتنا النهائية)، وبعمر للكون هو ١٣,٤ ± ١,٦ بليون سنة. (الظواهر الرهيفة هي ومصطلح لامبدا، تغير هونا من العلاقة البسيطة بين (H) وعمر الكون التي استخدمتها من قبل) وهذا هو أفضل تقدير حتى الآن لعمر الكون، ويسعدني أن أقول أن تحديد عمر الكون الذي وصفناه في هذا الكتاب والذي تقل دقته عن ذلك قلة هينة، ويعطي أفضل قيمة لهذا العمر تزيد قليلا عن ثلاثة عشر بليون سنة، هذا التحديد لعمر الكون يتفق على نحو جميل مع رقم لاينويفر.

قراءات أخرى

الكتب التالية ستمكن القارئ من أن يكتشف المزيد حول الخلاف على عمر الكون، واكتشاف الزمان الكون. وكلها مما يسهل فهمه إلى حد كبير، أما الكتب التى عليها علامة نجمة فقذ يكون فيها ما يثير بعض الرهبة لأى ممن يحسون بالنفور من المعادلات.

Gale Christianson, Edwin Hubble (Farrar, Straus and Giroux, 1995)

Stuart Clark, Towards the Edge of the Universe (Wiley, 1997)

*Peter Coles and George Ellis, Is the Universe Open or Closed? (Cambridge University Press, 1997)

Arthur Eddington, The Expanding Universe (Cambridge Science Classics, 1997 ; first published by Cambridge University Press, 1933)

John Gribbin, Companion to the Cosmos (Orion, 1996)

John Gribbin, In Search of the Big Bang (revised edition, Penguin, 1998)

Edwin Hubble, The Realm of the Nebuliae (Dover edition, 1958; first Publisned by Yale University Press, 1936)

Helge Kragh, Cosmology and Controversy (Princeton University Press, 1996)

Alan Lightman and Roberta Brawer, Origins: The Lives and Worlds of Modern Cosmologists (Harvard University Press, 1990)

Malcolm Longair, Our Evolving Universe (Cambridge University Press, 1996)

Dennis Overbye. Loney Hearts of the Cosmos (Harper Collins, 1991)

*Michael Rowan-Robinson, The Cosmological Distance Ladder (W. H. Freeman, 1985)

Harlow Shapley, Galaxies (third edition, revised by Paul Hodge, Harvard University press, 1972; origially published, 1943)

*Robert Smith, The Expanding Universe (Cambridge University Press, 1982)

معجم

Absorprion (interstellar)	ـ امتصاص (بوسط ما بين النجوم)
Acclerator	ـ معجل
Alpha Particle	ـ جسيم ألفا (نواة ذرة هليوم)
Angular Shift	ـ إزاحة زاوية
Astrology	ـ علم الفلك
Astronomical unit	ـ وحدة فلكية (و . ف)
Asrophysics	ـ علم الفيزياء الفلكية
Beta Particle	ـ جسيم بيتا (الكترون)
Big bang	ـ الانفجار الكبير (النظرية السائدة عن نشأة الكون)
Bit	ـ بتـه، رقم ثنائى هو أصغر وحدة معلومات للكمبيوتر.
Byte	ـ بايته، وحدة لقياس ذاكرة الكمبيوتر تتكون من ٨ بتات
Catastrophism	ـ مذهب الكارثية، نظرية فى الجيولوجيا بأن معالم الأرض مثل الجبال والوديان والمحيطات تتكون فى أحداث كارثية فى فترة زمنية قصيرة جدا.
Cathode Tube	ـ انبوبة الكاثود (أنبوبة المهبط)

Celius Scale	ـ تدريج سيليوس المئوى لدرجة الحرارة
Cepheids	ـ قيفاوسيات (نجوم تستخدم لقياس المسافات الفلكية)
Charged coupled device (CCD)	ـ جهاز شحن مقرون (جشم) جهاز إلكترونى حديث يستخدم فى الأرصاد الفلكية بدلا من الكاميرا الفوتوغرافية للكشف والتسجيل الألكترونى
Clams	ـ بطلينوس، حيوان رخوى صدفى
Cluster	ـ مجموعة عنقودية
Coffee Percolater	ـ راووق قهوة
Contour	ـ كونتور
Cosmologicol Constant	ـ الثابت الكونى
Cosmology	ـ علم الكون ـ الكونيات
Density (critical)	ـ الكثافة (الحرجة)
Diameter (angular)	ـ قطر (زاوى)
Diameter (isophotal)	ـ قطر (التساوى الضوئى)
Diameter (linear)	ـ قطر (خطى)
Doppler's effecr	ـ ظاهرة دوبلر
Elliptical	ـ اهليلجى
Emission spectrum	ـ طيف انبعاث

Ensemble average	- متوسط الطاقم
Entropy	- انتروبيا
Extinction (interstellar)	- اخماد (بوسط ما بين النجوم)
Field Galaxies	- مجرات المجال
Flourescence	- فلورة
Fossiloid remains	- بقايا حفرية - بقايا متحجرة
Globular. cluster	- مجموعة عنقودية كروية
Gravitational lensing	- عدسة جذبوية
Gravitational lensing	- تعديس جذبوى
Gyga byte	- بليون بايته
Half life	- عمر النصف
Hubble constant	- ثابت هابل
Hubble Space telescpe (HSI)	- هابل تليسكوب الفضاء (هتف)
Intrinsic brightness	- نصوع أصيل
Isotopes	- نظائر، العنصر الواحد يوجد فى نظائر عديدة تختلف فى عدد نيوتروناتها أو كتلة نواتها، ولكنها لها نفس العدد من الألكترونات والبروتونات
Kinetic energy	- طاقة حركية

Light Year	ـ سنة ضوئية، وحدة مسافات لقياس المسافات الفلكية وتساوى تقريبا ٩,٥×١٠^١٢ كليو متر.
Lump	ـ كعبرة، قطعة، كتلة.
Main sequence	ـ التتابع الرئيسى.
Malm quist bais	ـ تحيز مالمكويست
Mete bolism	ـ الأيض.
Meteorite	ـ نيزك.
Minute of an arc	ـ دقيقة من القوس، وحدة قياس للزوايا.
Modelling	ـ نمذجة، صنع نموذج.
Parallax	ـ إختلاف الوضع الظاهرى.
Parameter	ـ معلمة.
Parsec	ـ فرسخ، وحدة لقياس المسافات الفلكية تساوى تقريبا ٣,٣سنة ضوئية.
Particles (fundamental)	ـ جسيمات (أساسية أو أولية) مثل الإلكترون والكوارك.
Period - luminosity relation	ـ علاقة زمن الدورة ـ الضياء.
Phosphorescent salts	ـ أملاح الفسفرة (أملاح تتوهج فى الظلام.
Plasma	ـ البلازما، وهى فى علم الفيزياء مرحلة من تأين عالى للغازات ويتساوى فيها تقريبا عدد الأيونات الموجبة (بروتونات) والسالبة (إلكترونات).
Population (statistics)	ـ عشيرة(فى علم الأحصاء).
Proton - proton chain (PP)	ـ سلسلةالبرتون ـ البرتون (ب ـ ب)

Quantum physics	- فيزياء الكم، حسب نظرية ميكانيكا الكم.
Quasar	- كوازار.
Radio active dating	- التأريخ بالنشاط الاشعاعى.
Radio active disintigration	- اضمحلال إشعاعى.
Radio metric dating	- التأريخ بقياس الإشعاع.
Red shift	- إزاحة حمراء.
Scatter	- إنتشارية، تناثر، إستطارة
Second of an arc	ثانية من القوس، وحدة قياس للزوايا.
Space - time	- المكان - الزمان،الزمكان.
Spectrograph	- مطياف، راسم الطيف.
Spectroscopic studies (Spectroscopy)	- دراسات الطيف.
Spiral(galaxie)	- (مجرات) لولبية.
Theodolite	- مزواة، جهاز المسح بقياس الزوايا.
Terrestial mediocrity principle	- مبدأ المكانة العادية للأرض.
Topography	- طوبوغرافيا ،علم وصف الأماكن وسمات سطحها من هضاب وبحيرات وأنهار...ألخ.

Trangulatian	ـ التـثليث، رسم مـثلثـات بقـيـاس الزوايا.
Tunnel effect	ـ الظاهرة النفقية.
Uniformitarianism	ـ مـذهب الاتسـاقـيـة، مـذهب في الجيولوجيا بأن معالم الأرض تتغير على نحو متسق عبر الزمن بنفس العوامل التي نراها الآن وهي تعمل مـفـعـولهـا في الأرض، وذلك في تباين مع مذهب الكارثية.
Universe (closed)	ـ كون مغلق.
Universe (open)	ـ كون مفتوح.
Vacuum energy	ـ طاقة فراغ.
Van Allen radiation belts	ـ حزاما إشعاع فان آلن.
Velocity(radial).	ـ سرعة (قطرية).
Velocity (transverse)	ـ سرعة (مستعرضة).

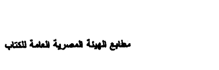
هذا الكتاب

كتاب سلس موجه للقارئ غير المتخصص ليسرد بأسلوب شيق قصة أحدث الأبحاث العلمية التى أدت إلى تحديد عمر الكون تحديدا دقيقا، وكذلك تحديد عمر أكبر النجوم سنا.. وقد كان هناك حتى منتصف تسعينيات القرن العشرين خلاف كبير بين علماء الفلك والكونيات حول عمر الكون، فكان تقدير هذا العمر يختلف بمدى يتراوح بين عشرة بلايين إلى عشرين بليون سنة، أى اختلاف بالضعف. كما كان هناك تناقض معروف بين عمر الكون وعمر أكبر النجوم سنا، حيث قدر الكثيرون من العلماء عمرا لهذه النجوم أكبر من عمر الكون نفسه، وكأن الإبن أكبر سنا من الأب! ويبين الكتاب كيف أمكن للعلماء حل هذه المشاكل والتناقضات، وما صحب ذلك من وقائع علمية مثيرة كان فيها أحيانا بدايات خاطئة ومسالك مسدودة. وجدير بالذكر أن المؤلف قد ساهم بنفسه فى هذه الأبحاث مع فريق بحث فى جامعة سسكس كان له دوره الصغير والمهم فى حل هذه المشاكل الكونية الكبرى. وما كان لهذا البحث أن يكتمل إلا باستخدام أحدث البيانات من أرصاد تليسكوب هابل الفضائى فى أواخر تسعينيات القرن العشرين. وهكذا لا يقتصر دور المؤلف على سرد الأحداث والاكتشافات العلمية من خارجها، وإنما كان هو نفسه منغمسا من داخلها، بما يجعل لكتابه وزنا أهم وأكبر.



رقم الإيداع ١١٢١٣ /٢٠٠١

I – S.B.N 977 –01 – 7291 - x


مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب





بين الحلم والواقع كانت مسافة زمنية ربما بدت لى طويلة أو مختلفة ولكن الأهم أن الحلم أصبح واقعًا ملموسًا حيًا يتأثر ويؤثر، وهكذا كانت مكتبة الأسرة تجربة مصرية صميمة بالجهد والمتابعة والتطوير، خرجت عن حدود المحلية وأصبحت باعتراف منظمة اليونسكو تجربة مصرية متفردة تستحق أن تنتشر فى كل دول العالم النامي وأسعدنى انتشار التجربة ومحاولة تعميمها فى دول أخرى، كما أسعدنى كل السعادة احتضان الأسرة المصرية واحتفائها وانتظارها وتلهفها على إصدارات مكتبة الأسرة طوال الأعوام السابقة.

ولقد أصبح هذا المشروع كيانًا ثقافيًا له مضمونه وشكله وهدفه النبيل. ورغم اهتماماتى الوطنية المتنوعة في مجالات كثيرة أخرى إلا أننى أعتبر مهرجان القراءة للجميع ومكتبة الأسرة هى الإبن البكر، ونجاح هذا المشروع كان سببًا قويًا لمزيد من المشروعات الأخرى.

ومازالت قافلة التنوير تواصل إشعاعها بالمعرفة الإنسانية، تعيد الروح للكتاب مصدرًا أساسيًا وخالدًا للثقافة. وتوالى «مكتبة الأسرة» إصداراتها للعام الثامن على التوالى، تضيف دائمًا من جواهر الإبداع الفكرى والعلمى والأدبى وتترسخ على مدى الأيام والسنوات زادًا ثقافيًا لأهلى وعشيرتى ومواطنى أهل مصر المحروسة مصر الحضارة والثقافة والتاريخ.

سوزان مبارك



مكتبة الأسرة 2001

مهرجان القراءة للجميع

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

الثمن ٣٠٠ قرش